85-0460/

LES ÉOLIENNES ET VOTRE MAISON

TEXTE ET RECHERCHE

Bernard Lévy-Bertaut

TABLE DES MATIÈRES

- *INTRODUCTION* 1
- *Les grandes familles — axe vertical* 2
  — axe horizontal 4
- *Et pourtant elles tournent: aérodynamique* 4
- *Mécanique* 5
- *Caractéristiques générales* 8
- *Site d'implantation* 8
- *Potentiel éolien* 9
- *Quels sont vos besoins?* 11
- *Mode de stockage* 11
- *Choix d'un aérogénérateur* 14
- *Éoliennes de pompage* 16
- *Coûts et rentabilité* 16

ANNEXES 17

— Calcul des dimensions du stockage 19

— Calcul des aérogénérateurs 19

— Transmission 20

— Pompage 20

— Graphiques 21

— Équations 21

— Manufacturiers – distributeurs au Québec 23

— Recherche – développement au Québec 23

— Liste des publications 26

INTRODUCTION

Les voiliers et les moulins traditionnels sont des dispositifs familiers à bien des gens. Par contre, les éoliennes modernes, qui fournissent de l'énergie électrique, suscitent beaucoup de curiosité et d'interrogations auprès de nombreux intéressés susceptibles d'apprivoiser cette forme d'énergie pour les résidences. Étant donné les coûts actuels des énergies conventionnelles, il est légitime de s'intéresser à ces systèmes capables de combler une partie ou la totalité des besoins en électricité d'une habitation. Ces éoliennes modernes sont plus sophistiquées et plus complexes que leurs ancêtres et peuvent revêtir diverses formes en fonction de chaque cas particulier.

Ce document n'a pas la prétention de faire une étude exhaustive et trop théorique de ces systèmes, mais tente de répondre aux premières questions que se posent les intéressés. D'abord, il présente les types les plus courants d'éoliennes ainsi que leur fonctionnement, puis détermine qui peut profiter d'une éolienne, de quelle manière et à quel prix. Une liste de fournisseurs complète cette étude.

LES GRANDES FAMILLES

Les éoliennes se subdivisent en deux familles: celles à axe horizontal et celles à axe vertical.

***Axe vertical** (fig. 1)*

— *Les éoliennes de type Savonius: constituées de sortes de moitié de barils disposés en S et qui pivotent autour d'un axe vertical. De rendement peu élevé, les Savonius sont néanmoins très simples de construction et démarrent facilement par vent faible. Leur vitesse de rotation n'est jamais très élevée. Ces caractéristiques les rendent utiles pour le pompage de l'eau.*

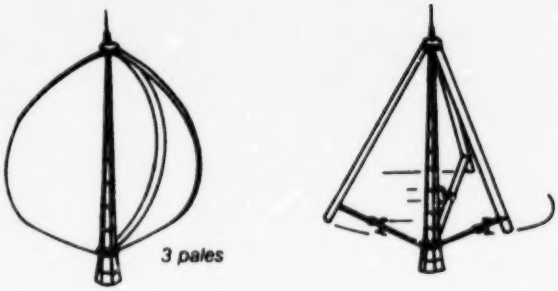
— *Les panémones: constituées de coupelles ou de surfaces radiales tournant autour d'un axe vertical, elles sont simples de construction et d'un coût minime. Mais leur rendement est faible. On les retrouve souvent dans les anémomètres, petits appareils de mesure du vent.*

— *Les éoliennes de type Darrieus (inventeur français): constituées de 2, 3 ou 4 pales profilées; elles ressemblent à de grands batteurs à oeufs. Les Darrieus présentent des problèmes de vibration et ne démarrent pas toujours toutes seules, ce qui nécessite parfois au départ une légère dépense d'énergie. Elles sont de construction simple, d'un poids assez léger et fournissent de bons rendements. Les pales peuvent tourner très vite. C'est pourquoi elles sont surtout utilisées pour la production d'électricité. Leur taille peut en outre être gigantesque.*

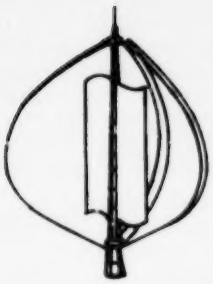
— *Il existe plusieurs dérivés des Darrieus, les modèles Weccan, cycloturbine, Filippini, etc., à pales droites et parallèles. Parfois auto-démarrantes, ces éoliennes sont le plus souvent utilisées pour une production d'électricité.*

Toutes ces éoliennes tournent quelle que soit la direction des vents, sans dispositif d'orientation.

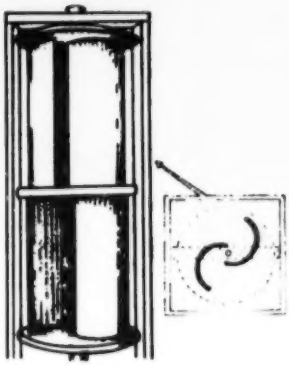
Figure 1 — Axe vertical



Éoliennes Darrieus

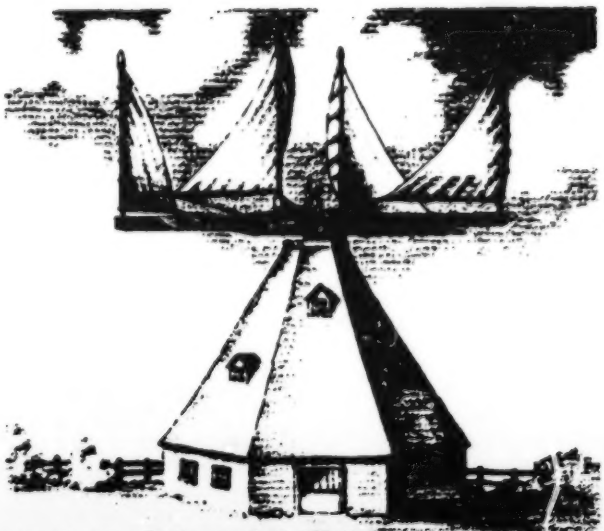


Darrieus — Savonius

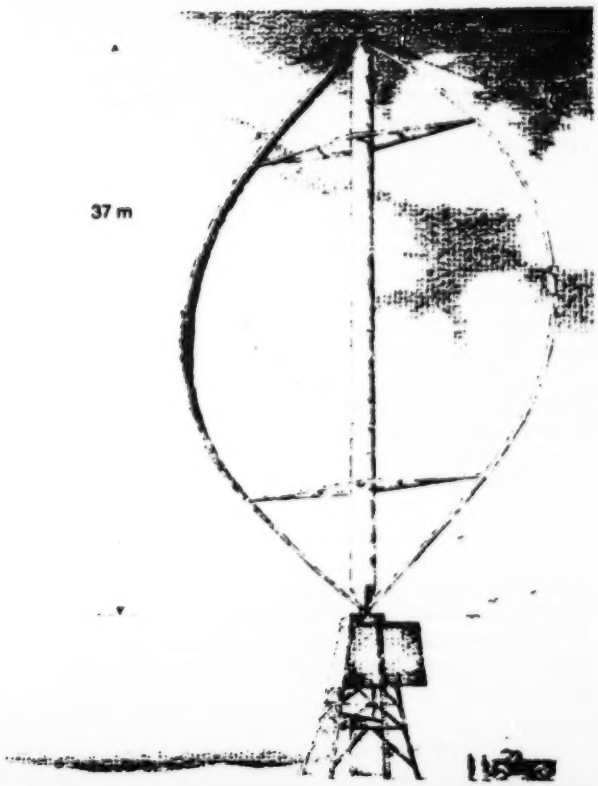


Éolienne Savonius

Panémone vue en plan



Les ailes de ce curieux moulin du 18e siècle tournent autour d'un axe vertical



Darrieus géante des Îles-de-la-Madeleine.

***Axe horizontal** (fig. 2)*

- *Les plus courantes sont munies d'hélices à 2, 3 ou 4 pales profilées qui tournent dans un plan perpendiculaire à la direction des vents. En général ces éoliennes fournissent les meilleurs rendements. Les hélices sont généralement auto-démarrantes et peuvent atteindre des vitesses de rotation très élevées, mais sont cependant sujettes à des problèmes de vibration si la construction n'est pas soignée. D'une haute technicité, ces éoliennes sont surtout utilisées pour fournir de l'électricité.*
- *Les multipales, dont l'exemple le plus connu est l'éolienne des fermes américaines, sont d'un coût modéré et de construction simple; elles tournent à de faibles vitesses et sont surtout utilisées pour le pompage de l'eau.*
- *Pour mémoire, il existe des éoliennes multipales, ressemblant à des roues de bicyclette, capables d'assurer aussi une production d'électricité.*
- *Les moulins à vent traditionnels utilisés pour moudre le grain: par exemple les moulins hollandais avec leurs 4 pales, de mouvement lent mais de forte puissance, ou les moulins grecs avec 6 à 8 pales. Ces pales sont constituées de toiles tendues durant les périodes de vents, sur une ossature en bois.*

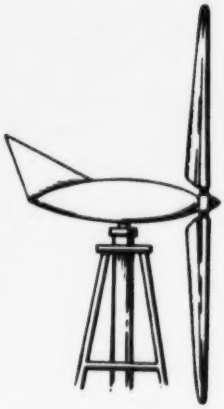
Toutes ces éoliennes ont besoin d'un dispositif d'orientation fait en général d'une girouette pour diriger l'hélice face aux vents. Ce dispositif est superflu pour certains types d'hélices qui reçoivent le vent de l'arrière. (fig. 7 et 8)

Dans le cas des éoliennes à axe horizontal, l'axe, la transmission éventuelle et la génératrice sont disposés dans un carter pivotant sur une tour support. Le carter, solidaire de l'hélice, forme le groupe aéromoteur. En ce qui concerne la Darrieus et ses dérivées, la génératrice se retrouve généralement à la base de l'axe vertical: elle est donc d'accès facile. (fig. 6)

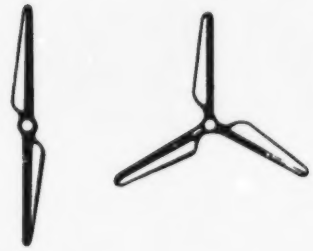
Les tours de support constituent un élément important: elles doivent résister à des contraintes verticales (dues à l'aéromoteur), de flexion (dues à la force de traînée) et de vibrations éventuelles. De plus, les tours ne doivent pas causer trop de turbulences à l'aéromoteur: elles sont généralement faites d'un treillis de métal, ou d'un poteau solidement ancré dans le sol, le plus souvent haubané comme les mâts de navire. Les tours de support doivent être munies d'échelles ou être basculantes afin d'accéder au groupe aéromoteur pour des travaux de réparation ou d'entretien.

Les aérogénérateurs sont donc des appareils très sophistiqués soumis à de rudes contraintes et à de permanents problèmes de vibrations: ainsi doivent-ils être faits de matériaux très solides et montés avec soin et précision. Seuls les bricoleurs très expérimentés peuvent réaliser des aérogénérateurs performants et durables.

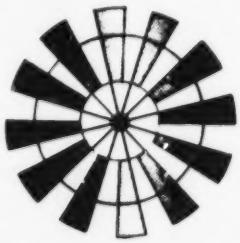
Figure 2 — Axe horizontal



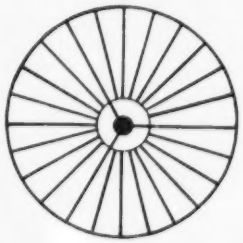
Éolienne à hélice



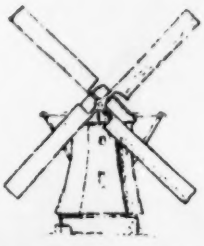
Bipale *Tripale*



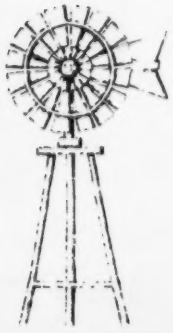
Multipale



À «roue de vélo»



Moulin hollandais



Éolienne de ferme (américaine)

ET POURTANT ELLES TOURNENT: AÉRODYNAMIQUE

Le vent s'écoule (fig. 3 et 4) différemment sur les côtés exposés et cachés d'un objet. Une différence de pression entre ces côtés est alors réalisée engendrant une force susceptible de déplacer l'objet. Il est commode de décomposer cette force en 2 forces l'une parallèle au vent: la traînée, et l'autre perpendiculaire: la portance. Par exemple, une main tendue hors d'une voiture lancée à grande vitesse reçoit, face au vent, une poussée vers l'arrière: c'est la traînée. C'est la traînée qui propulse les voiliers et pousse les voitures, par vent arrière. Si la paume est maintenant inclinée vers le bas, la main reçoit alors une poussée vers le haut: c'est la portance, la même qui soutient les ailes d'avions ou de deltaplanes en vol et qui plaque au sol les voitures de compétitions très rapides qui, avec un profil différent, pourraient décoller!

Selon chaque type d'éolienne, c'est la portance ou la traînée qui va jouer un rôle prépondérant. Ainsi les Savonius ou les panémones tournent grâce à la traînée, tandis que les pales d'éoliennes à hélice ou Darrieus tournent sous l'effet de la portance. Ces pales sont profilées de manière à ce que la portance soit maximisée au détriment d'une traînée devenue insignifiante. Cependant, si l'inclinaison des pales par rapport aux vents n'est pas optimale, la portance peut diminuer au dépend de la traînée jusqu'à devenir nulle: les pales ralentissent ou s'arrêtent, les ailes d'avion «décrochent» et ne portent plus. En réalité, le vent pris en compte est la résultante du vent existant et du vent créé par la rotation des pales.

MÉCANIQUE

Les Savonius, panémones et multipales présentent aux vents une grande surface de pales qui leur permet ainsi de se mettre facilement en mouvement, même par vents faibles, mais jamais de tourner très vite. Cela rend ces éoliennes utiles pour des applications mécaniques comme le pompage de l'eau. L'énergie du vent est ici transformée en énergie mécanique.

À l'inverse, les éoliennes Darrieus et à hélice bipale ou tripale (jusqu'à 4 à 5 pales), qui ont une faible surface de pales, démarrent plus difficilement, nécessitant parfois une légère dépense d'énergie, mais peuvent atteindre de grandes vitesses de rotation. C'est pourquoi elles sont fréquemment utilisées pour produire de l'électricité: leur axe de rotation est couplé, par l'intermédiaire d'une transmission multiplicatrice, à l'axe d'une génératrice qui, pour être efficace, doit tourner très vite (de 1 800 à 3 600 tours/min), sauf pour un type de génératrices dites à rotation lente qui se passe alors de transmission. Ces éoliennes qui produisent de l'électricité sont encore appelées aérogénérateurs. L'énergie du vent est dans ce cas d'abord transformée en énergie mécanique (rotation de l'axe), puis en énergie électrique fournie par la rotation rapide de la génératrice.

Leurs pales commencent à tourner à partir d'une vitesse de vent dite de démarrage. Mais par vents forts, elles risquent de tourner bien trop vite, menaçant d'être arrachées du moyeu ou d'endommager la génératrice si ce n'est toute l'installation par des vibrations destructives. Aussi est souvent prévu un dispositif d'autorégulation qui stabilise la rotation des pales à partir d'une certaine vitesse de vent appelée vitesse nominale, la génératrice atteignant alors sa puissance maximale. Par exemple, un dispositif très employé consiste à modifier l'inclinaison des pales afin d'en réduire la portance et donc la vitesse de rotation, grâce à un système de pas variable mû par la force centrifuge. Enfin, avant les tempêtes un système supplémentaire de freins ou de mise en drapeau (plan de l'hélice parallèle aux vents) arrête complètement l'éolienne sous une vitesse de vent dite d'éclipsage.

Figure 3 — Aérodynamique

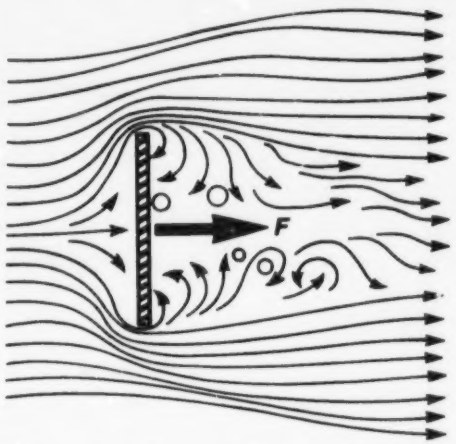


Schéma illustrant la force (F) exercée par le vent sur une plaque.

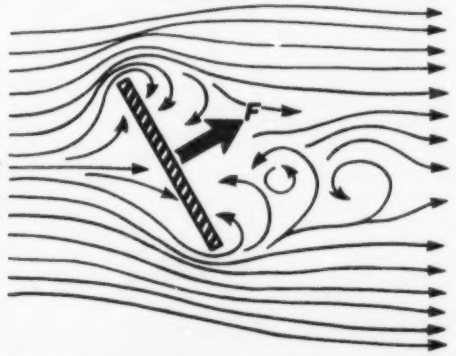


Illustration de la force (F) exercée par le vent sur une surface non profilée. La force résultante est perpendiculaire au plan de la plaque.

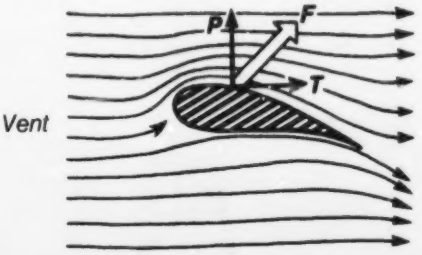
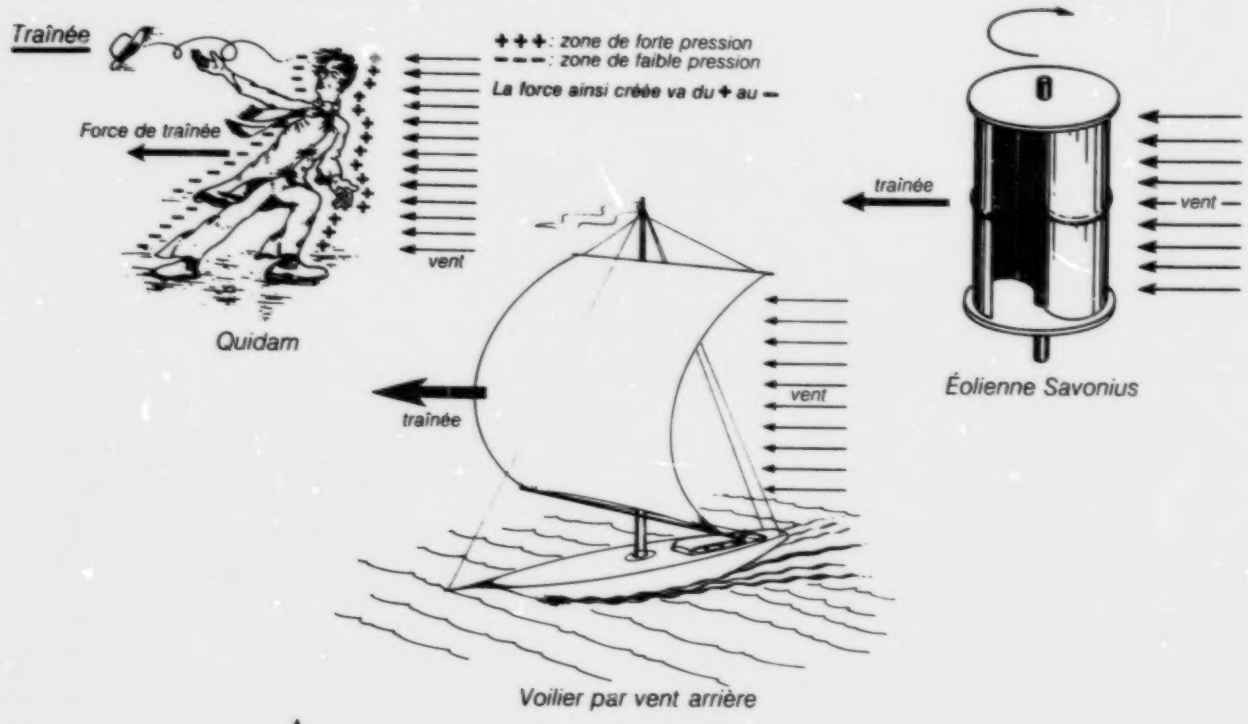
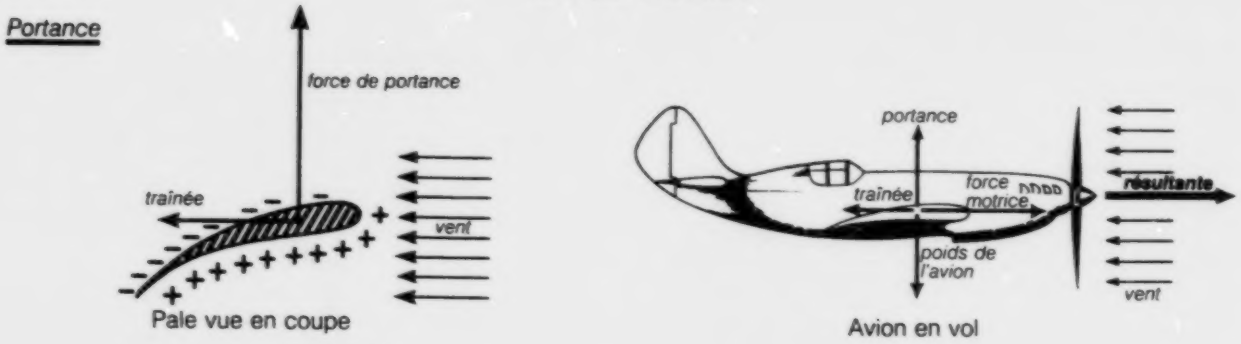


Illustration de la force (F) exercée par le vent sur une surface profilée. Elle se décompose en une force de portance P et une force de traînée T.

Figure 4 — Aérodynamique: Force de traînée et de portance





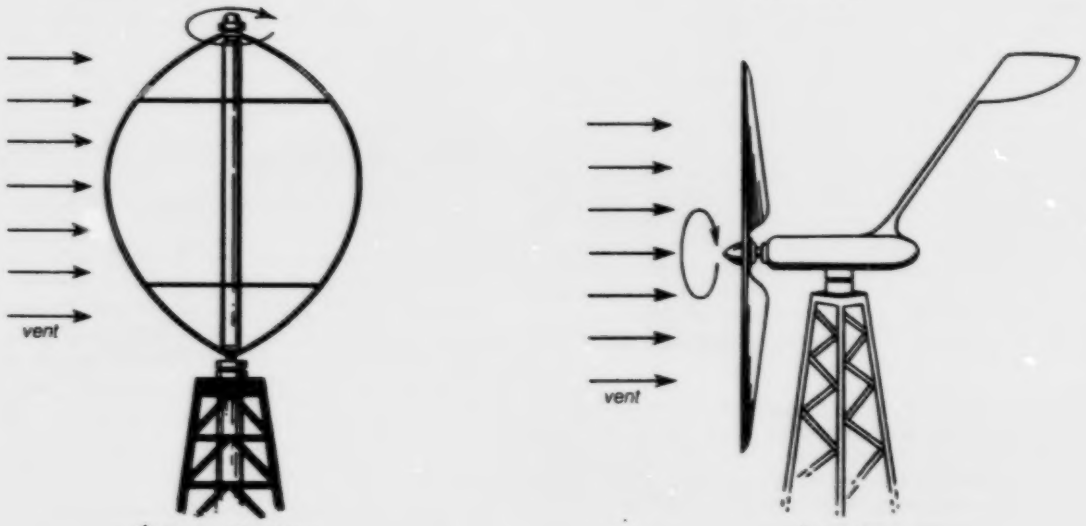


Figure 5 — Rendement aérodynamique en fonction de la vitesse spécifique pour différents types d'hélices

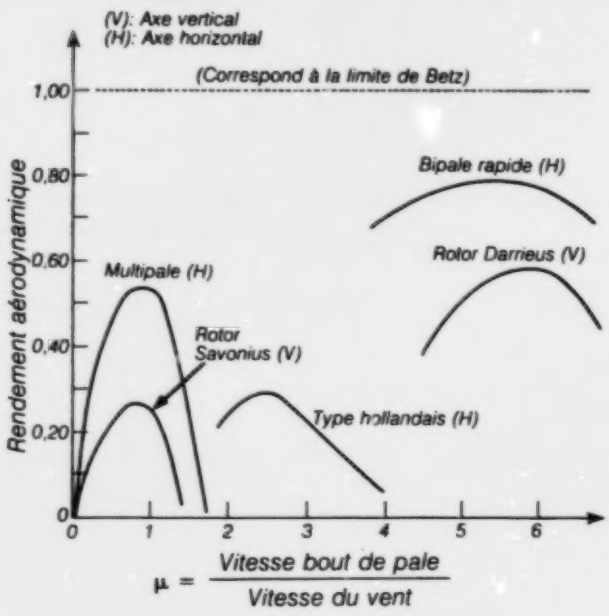


Figure 6 — Coupe schématique d'une éolienne: modèle à axe horizontal

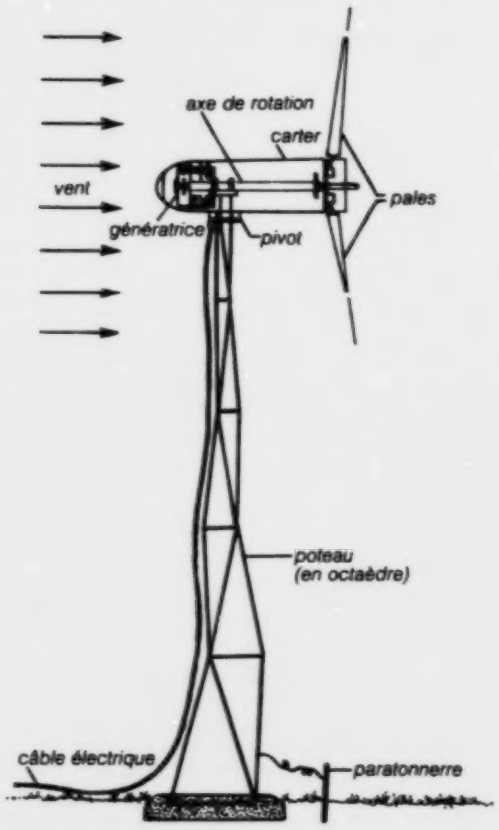


Figure 7 — Profil des pales selon le mode d'orientation

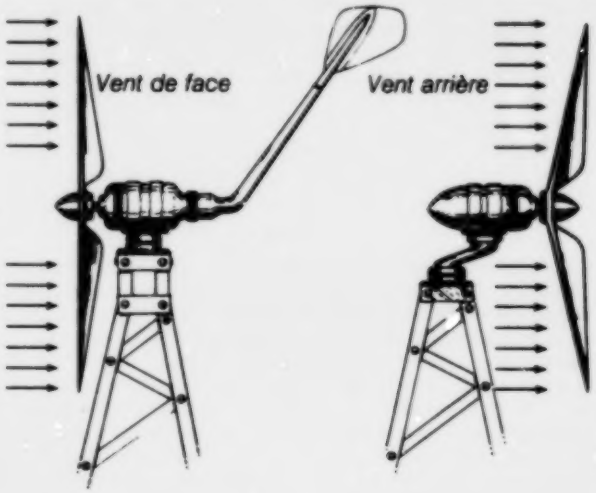
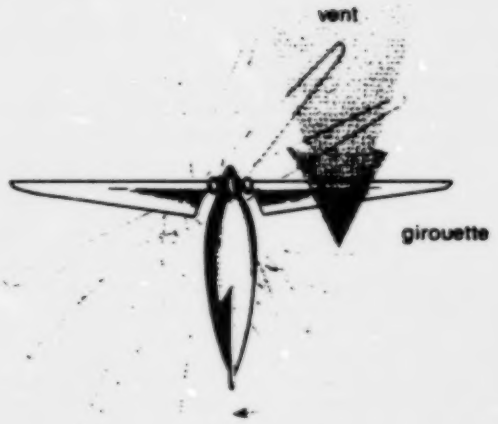


Figure 8 — Orientation



Grâce à sa girouette, cette éolienne à axe horizontal s'oriente toute seule face au vent.

Les éoliennes Darrieus entrent en rotation quelle que soit la direction du vent et elles se dispensent par conséquent de tout mécanisme d'orientation.

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Contrairement à d'autres appareils de conversion d'énergie, les aérogénérateurs n'ont pas une puissance unique mais bien différentes puissances, acquises selon chaque vitesse de vent: de la vitesse de démarrage à la vitesse nominale, la génératrice commence à fournir de l'électricité puis augmente graduellement de puissance jusqu'à sa puissance maximale (dite nominale). Cette puissance nominale reste stable jusqu'à la vitesse d'éclipsage où tout le système s'arrête.

La puissance des vents captée par l'éolienne est proportionnelle à la surface balayée par les pales, ainsi qu'au cube de la vitesse des vents. Cela signifie que si la surface balayée est conçue 2 fois plus grande, la puissance captée sera doublée. Mais si la vitesse du vent double, la puissance, elle, est multipliée par 2^3, soit par 8. C'est dire qu'il est essentiel qu'une éolienne, pour être efficace, soit située dans un site très venteux. Il est certes possible de compenser un faible régime de vents par une très grande surface des pales, mais ce sera une opération très coûteuse.

$$\text{Puissance captée} = \frac{1}{2}\,(\text{densité de l'air}) \times (\text{surface balayée}) \times (\text{vitesse de vent})^3$$

$$= \frac{1}{2} \quad \rho \quad \times \quad S \quad \times \quad V^3$$

ρ = densité de l'air (en général plus forte en hiver qu'en été et plus forte en basse qu'en haute altitude: au niveau de la mer en général = 1,25 kg/m³)

Le plus souvent, on choisit $\rho = 1{,}25$; donc $1/2\rho = 0{,}63$

Soit: Puissance captée $= 0{,}63 \times S \times V^3$

Si l'éolienne pouvait extraire toute la puissance qu'elle capte du vent, cela signifierait qu'aucun souffle d'air ne subsiste à la sortie des pales, ce qui est impensable. En théorie, le maximum qu'une éolienne peut extraire du vent est 59% de la puissance captée: c'est la limite de Betz. En pratique, la puissance extraite est toujours inférieure, à cause des rendements propres de chaque composante de l'éolienne, en particulier du rendement des pales, appelé rendement aérodynamique, qui varie selon un rapport vitesse en bout de pales sur vitesse du vent (appelé vitesse spécifique).

— Soit d'après la limite de Betz (environ 59%): $0{,}59 \times 0{,}63 = 0{,}37$

Puissance maximale $= 0{,}37 \times S \times V^3$

— Le rendement global de l'éolienne est souvent indiqué en fonction de la puissance maximale:

$$\text{rendement} = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance maximale}}$$

— Il est parfois indiqué en fonction de la puissance captée et s'appelle alors le coefficient de puissance Cp.

$$Cp = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance captée}}$$

Par ailleurs il faut s'assurer que les puissances des éoliennes indiquées par les manufacturiers soient bien les puissances utiles et non les puissances captées, c'est-à-dire les puissances de sortie utilisables dans la résidence et non les puissances à l'entrée.

De plus, puisque les éoliennes ne se caractérisent pas du tout par une puissance unique mais par différentes puissances acquises selon chaque vitesse du vent, il est tout aussi important de connaître la puissance nominale d'une éolienne que la vitesse du vent à laquelle est atteinte cette puissance. (fig. 9)

Figure 9 — Exemple des spécifications pour une éolienne (type "aérowatt") ; puissance nominale de sortie : 2,6 kW

Vitesse de vent nominale: 7 m/s	Puissance disponible
Vitesse de démarrage: 2 m/s	selon les vents
Vitesse de décrochage: 60 m/s	4 m/s: 1,3 kW
Vitesse nominale de	5 m/s: 1,8 kW
rotation des pales: 152 t/mn	6 m/s: 2,3 kW
	7 m/s: 2,6 kW
	8 m/s: 2,6 kW etc.

SITE D'IMPLANTATION

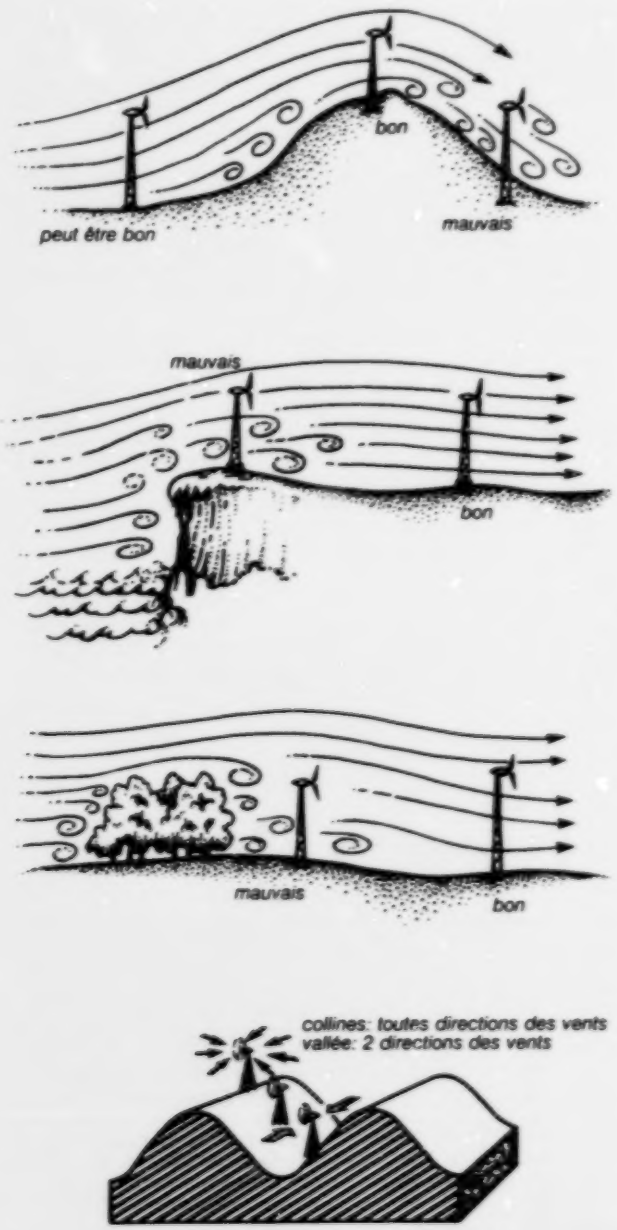
Avant d'implanter une éolienne sur un site donné, l'utilisateur doit en déterminer les modalités d'applications concrètes, légales et économiques.

Au Québec, aucune réglementation n'interdit à un particulier de produire sa propre énergie électrique. Cependant, les éoliennes doivent souvent respecter des réglementations locales concernant par exemple le zonage, la hauteur et parfois l'esthétique des ouvrages. Dans les zones habitées, les compagnies d'assurances sont parfois réticentes à assurer l'éolienne craignant surtout des accidents de bris de pales, rares mais toujours possibles. Le voisinage, dans certains cas, peut aussi manifester son inquiétude pour les mêmes raisons ou à cause d'éventuelles nuisances de bruit, en réalité très faibles, et de possibles interférences sur les ondes de télévision. Toutes ces contraintes rendent difficile l'implantation d'éoliennes dans les zones habitées. De plus, pour éviter les turbulences qui fatigueraient très vite la mécanique, les éoliennes ne peuvent être érigées près d'obstacles (maisons, arbres, collines...) qui se trouvent dans un rayon de 100 mètres, à moins qu'elles ne soient à 6 – 8 mètres au-dessus de ces obstacles, ce qui en limite grandement l'installation dans les villes.

Les meilleurs emplacements sont aux abords des fleuves ou océans, dans des plaines dégagées, au sommet des collines qui reçoivent des vents de toute direction et parfois dans les vallées recevant surtout deux directions de vent dans l'axe de la vallée. Pour ce qui est de la hauteur, il faut préciser que plus l'aéromoteur est disposé haut, plus il recevra des vents rapides

et réguliers. Par conséquent, les seules limites à la hauteur sont le prix du poteau, sa base qui s'élargit de plus en plus et les autres contraintes décrites ci-dessus. En général, les hauteurs courantes des éoliennes avoisinent les 10 mètres. Jamais une éolienne ne doit être fixée sur une toiture d'habitation, si on ne veut pas se retrouver sans éolienne et sans toit. . . En général, un terrain de bonne taille permet plus de souplesse dans le choix d'un emplacement (fig. 10).

Figure 10 — Implantations possibles sur un site particulier



POTENTIEL ÉOLIEN

Au Québec, les régions les plus venteuses sont la Basse-Côte-Nord, une bonne partie de la Gaspésie et du Golfe du Saint-Laurent, les Îles-de-la-Madeleine. Mais étant donné les grands écarts qui peuvent se produire entre des sites voisins concernant le potentiel des vents, bien d'autres régions non identifiées peuvent s'avérer intéressantes. À moyen terme, le ministère de l'Environnement du Québec va dresser une cartographie de plus en plus complète du potentiel éolien des régions du Québec (fig. 11).

Figure 11 — Vitesse moyenne des vents pour plusieurs stations du Québec. (source : IREQ)

SITE	*V km/h*
Arvida	*20,0*
Baie-Comeau	*13,8*
Border	*20,0*
Cap Hopes Advance	*28,1*
Cap Whittle	*28,2*
Caplan	*17,5*
Forêt Montmorency	*4,5*
Fort-Chimo	*15,4*
Grande-Rivière	*15,3*
Harrington-Harbour	*22,0*
Îles-de-la-Madeleine	*31,7*
Inoucdjouak	*20,9*
Joliette	*5,9*
La Pocatière	*15,3*
Lake Eon	*14,6*
Maniwaki	*8,5*
Mégantic	*14,8*
Mont-Joli	*20,3*
Montréal (Dorval)	*13,7*
Montréal (McGill)	*6,4*
Natashquan	*18,0*
Nitchequon	*15,5*
Normandin	
Poste-de-la-Baleine	*14,0*
Québec	*16,7*
Rivière-au-Renard	*20,8*
Rivière-du-Loup	*14,0*
Roberval	*15,6*
Sainte-Agathe-des-Monts	*11,1*
Saint-Augustin	*14,5*
Saint-Hubert	*16,7*
Sawyerville Nord	*13,1*
Sept-Îles	*17,3*
Shefferville	*18,0*
Sherbrooke	*11,4*
Valcartier	*5,0*
Val-d'Or	*12,7*

Pour caractériser le potentiel éolien d'un site, il faut enregistrer les données suivantes: (fig. 12)

- *les vents dominants: leur vitesse — en mètres par seconde (m/s ou km/h) et leur durée — en heures;*
- *les vitesses maximales atteintes;*
- *les vitesses moyennes obtenues pour une période déterminée (moyenne arithmétique);*
- *les périodes sans vent et la durée maximale de calme;*
- *la périodicité du vent — en heures par jour.*

Les résultats sont établis sur une année complète, chaque mois, 2 mois ou chaque saison, selon le degré de précision exigé. Il est supposé que le régime global des vents varie peu d'une année à l'autre.

Figure 12 — Exemple d'un relevé du potentiel éolien d'un site donné au Québec

RELEVÉ DE JANVIER

(1 m/s) 1 mètre par seconde = 3,6 kilomètres à l'heure (3,6 km/h)

Vitesse des vents dominants	Durée
de 0 à 4 m/s	15 heures
de 4 à 5 m/s	20 heures
de 5 à 6 m/s	35 heures
de 6 à 7 m/s	115 heures
de 7 à 8 m/s	122 heures
de 8 à 9 m/s	43 heures
de 9 à 20 m/s	6 heures
plus de 20 m/s	13 heures

Vitesse maximum = 25 m/s
Vitesse moyenne = 7 m/s*
Calme le plus long = 36 heures
Périodicité du vent = 15 h/jour

* 7 m/s = 0,007 km/s = 0,007 × 3600 s = 25 km/heure

Une première remarque s'impose: si la moyenne des vents pour l'année ou la moyenne durant la période hivernale (saison où la demande est la plus forte) est inférieure à 16 km/h (4,5 m/s), il n'est pas recommandable d'installer une éolienne dont les performances seraient en général trop faibles.

Pour avoir une première idée du potentiel des vents d'un site donné, il suffit de le demander au service de la météo, à l'aéroport le plus proche ou au ministère de l'Environnement. Un petit appareil simple de mesure des vents permettrait de comparer à plusieurs reprises les résultats avec ceux du service de la météo enregistrées au même moment. Il est important de placer l'appareil assez haut, en moyenne à 10 mètres de hauteur où sont généralement recueillies les données de la météo et où risque approximativement d'être placé l'aéromoteur. L'appareil de mesure peut être fixé, par exemple, au bout d'une longue perche ou à quelques mètres au-dessus de la toiture de l'habitation.

À ce stade, certains manufacturiers peuvent à l'aide de courbes de probabilités (équation de Rayleigh) déduire à partir de la vitesse moyenne des vents, le potentiel des vents pour toute l'année sur un site donné et, par conséquent, fournir les performances probables d'une éolienne sur le site considéré.

Mais tous ces moyens restent très approximatifs et sont surtout conseillés pour avoir une première idée du potentiel des vents sur le site. Il est recommandé, pour éviter toute surprise ultérieure, d'acheter un anémomètre à enregistreur (ou intégrateur), appareil précis de mesure des vents, et de le placer dans les mêmes conditions de hauteur que précédemment. Ensuite, il conviendra de recueillir les données chaque mois ou chaque saison pour une année, cela afin d'apprécier avec exactitude le potentiel réel des vents dont profitera la future éolienne. Il existe des anénomètres de tous les prix en fonction de leur qualité et aptitude à recueillir eux-mêmes toutes les données sans aide extérieure. Les meilleurs coûtent environ 2 000 $. Certaines firmes en louent ou effectuent elles-mêmes le recueil des données.

L'échelle de Beaufort, très utilisée dans la marine, donne une idée plus physique de la vitesse des vents.

ÉCHELLE BEAUFORT		VITESSE			EFFETS PHYSIQUES
Force	Type	m/s	km/h	mph	
0	Calme	0 – 0,3	0 – 1	0 – 1 calme	La fumée monte verticale
1	Très légère brise	0,3 – 1,5	1 – 5	1 – 3 env.	La fumée est un peu déviée
2	Légère brise	1,5 – 3	6 – 11	4 – 7 env.	À peine sensible
3	Petite brise	3,5 – 5	12 – 19	8 – 12 env.	Les feuilles d'arbres remuent
4	Jolie brise	5,5 – 7	20 – 28	13 – 18 env.	Les petites feuilles sont agitées
5	Bonne brise	8 – 10	29 – 38	19 – 24 env.	Un sifflement est perceptible
6	Vent frais	11 – 13	39 – 49	25 – 31 env.	Les gros arbres sont agités
7	Grand vent	14 – 17	50 – 61	32 – 38	Des branches s'arrachent
8	Coup de vent	18 – 20	62 – 74	39 – 46	Des tuiles s'arrachent
9	Fort coup de vent	21 – 24	75 – 88	47 – 54	Arbres déracinables
10	Tempête	25 – 28	89 – 102	55 – 63	Ravages . . .
11	Violente tempête	29 – 32	103 – 117	64 – 72	
12	Ouragan	33	118 km/h	72	

QUELS SONT VOS BESOINS?

Tout appareil électrique est caractérisé par sa puissance exprimée en watt ou en kilowatt (1 kW = 1 000 watts). La consommation en énergie de chacun de ces appareils lorsqu'ils fournissent un travail, est exprimée en watt-heure (Wh) ou kilowattheure (kWh). Par exemple, une ampoule électrique de 75 W (0,075 kW) fonctionnant pendant 1 000 heures consomme 75 kWh d'énergie. De la même manière, une éolienne qui, pour un vent d'une certaine vitesse, atteint une puissance utile de 2 kW, va fournir pendant les 5 heures que dure le vent une énergie de 2 kW × 5 = 10 kWh.

Pour connaître la consommation totale d'électricité d'une résidence, il suffit de rassembler les dernières factures d'Hydro-Québec sur une année, qui donnent la consommation d'énergie chaque 2 mois (en kWh).

Pour connaître la consommation de quelques appareils précis que l'on veut brancher par exemple sur une éolienne, une liste donne pour 2 mois un aperçu des consommations de chaque appareil usuel, en kWh (fig. 13).

Figure 13 — Consommation moyenne de divers appareils électriques pour une période de deux mois

	*kWh
Appareil de radio	14
Bouilloire	40
Cafetière	18
Cafetière filtre automatique	10
Chaîne stéréo	22
Chauffe-eau Cascade	832
Chauffe-moteur	250
Chaufferette (1 à 1,2 kW)	100
Climatiseur (fenêtre)	550
Congélateur (15 pi.^{3})	200
Congélateur non givrant (15 pi.^{3})	300
Couverture chauffante double	24
Couverture chauffante simple	18
Cuisinière	200
Déshumidificateur	70
Fer à repasser	24
Filtre de piscine (¾ CV)	100
Four à micro-ondes	100
Four encastré	50
Friteuse	12
Grille-pain	6
Humidificateur	30
Lave-vaisselle	60
Machine à laver	20
Poêle à frire	30
Réfrigérateur (12 pi.^{3})	125
Réfrigérateur-cong. à deux compart. (14 pi.^{3})	240
Réfrigérateur-cong. non givrant (14 pi.^{3})	305
Sèche-cheveux (1,2 kW)	12
Sécheuse	160
Table de cuisson	100
Télécouleur	80
Tondeuse à gazon	14

* Les données ci-dessus constituent des moyennes. Il peut arriver que votre consommation soit supérieure ou inférieure, compte tenu du genre d'appareils que vous possédez et de l'utilisation que vous en faites.

Source: Hydro-Québec

Enfin, pour ceux qui veulent utiliser une éolienne pour le chauffage électrique de leur résidence, ici encore le plus simple est de s'en référer aux dernières factures d'Hydro-Québec durant la saison de chauffage. Pour les chauffages à l'huile, au gaz et au bois, les équivalences approximatives sont: 1 m³ de gaz fournit 7 kWh (rendement de fournaise: 80%); 1 litre d'huile à chauffage: 9 kWh (70% de rendement); 1 corde de bois: 1 670 kWh (60% de rendement).

Avant toute chose, il serait pertinent d'étudier jusqu'à quel point peut être réduite la consommation énergétique de la résidence (bonne isolation thermique et étanchéité de la maison, optimisation thermique des calorifères, etc.). Une résidence moyenne pour 4 personnes ne devrait pas consommer au Québec plus de 3 000 à 4 000 kWh pour le chauffe-eau, de 3 000 à 5 000 kWh pour les appareils domestiques, et 20 000 kWh pour le chauffage des locaux, sur une base annuelle.

La fraction d'énergie que l'éolienne devrait combler dépend de multiples facteurs: de l'éloignement ou non de la résidence par rapport au réseau public ou à d'autres sources d'approvisionnement en énergie, du prix de revient de l'installation, des possibilités de stockage d'énergie et enfin du degré de consommation d'énergie dans la résidence.

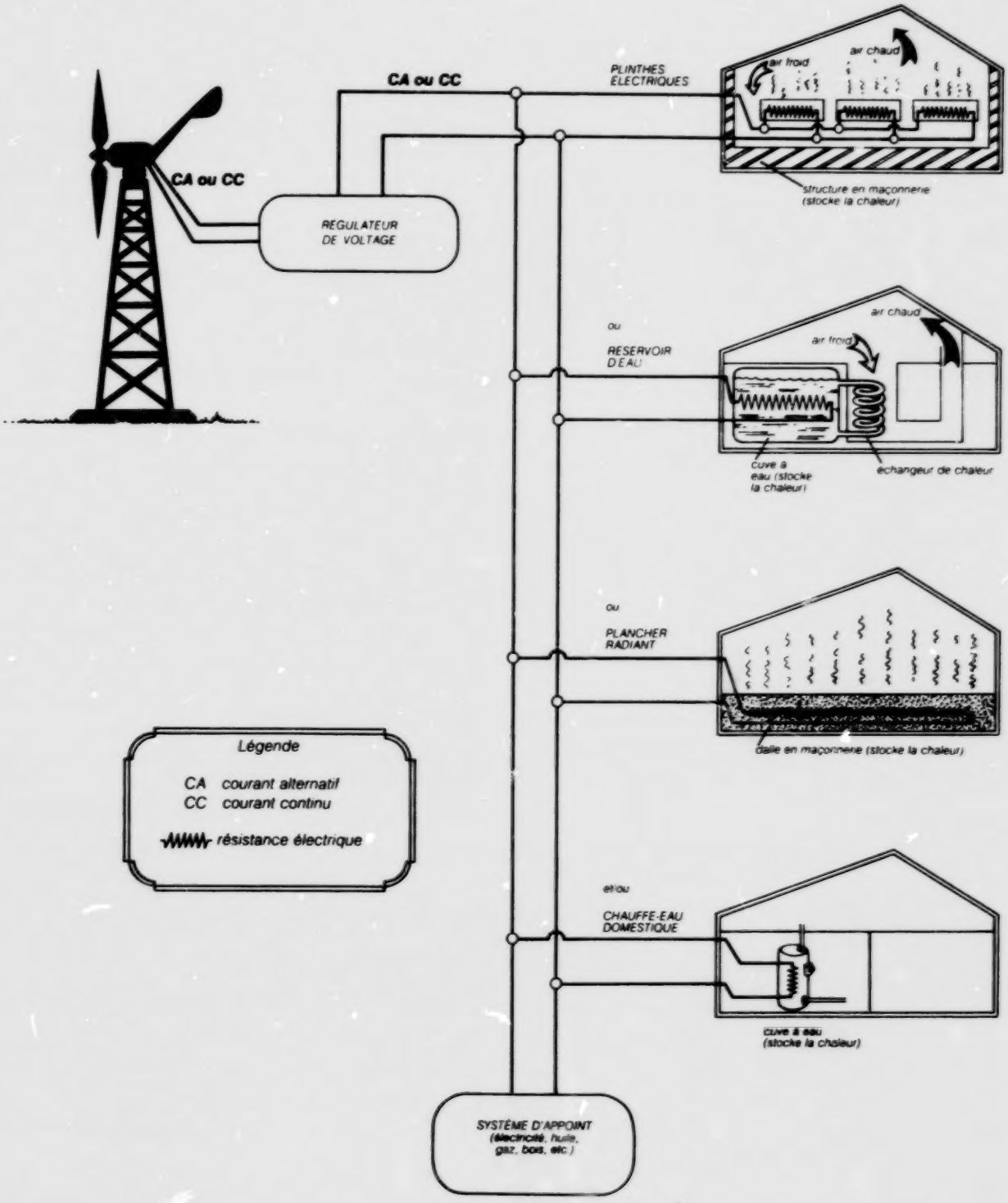
MODE DE STOCKAGE *(fig. 14)*

En général, l'éolienne fournit, selon les vents, une énergie intermittente correspondant peu souvent aux moments où les besoins des usagers se font le plus sentir. Un mode de stockage est donc indispensable faisant office de tampon entre l'énergie aléatoire du vent et les besoins exprimés dans la maison. Le mode de stockage le plus courant est constitué de batteries d'accumulateurs acide-plomb, à plaques épaisses et à grande capacité de charges-décharges, batteries facilement disponibles dans le commerce, identiques à celles employées par les voitures ou plutôt par les camions. Ce sont elles qui alimentent aussi les voitures électriques; elles ne peuvent accumuler l'électricité qu'en courant continu (c c).

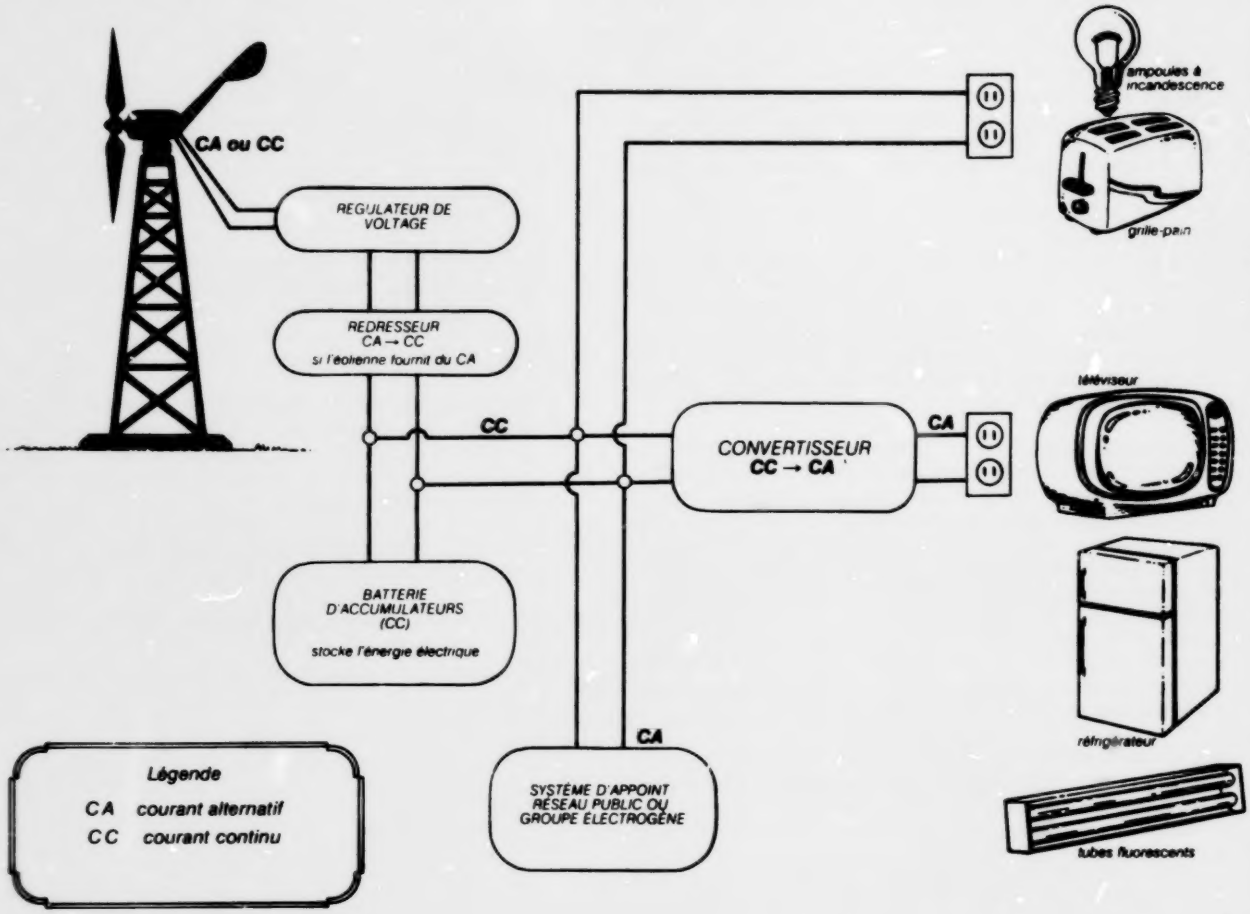
Or, si certaines génératrices fournissent du courant continu (dynamo), la plupart donnent un courant alternatif (alternateur, système à induction, multipoles) qui doit alors être redressé en courant continu avant d'être accumulé. Donc, à la sortie de ces éoliennes, un redresseur est couplé à un habituel régulateur de voltage. Ensuite, les batteries d'accumulateurs alimentent directement les résistances électriques d'appareils tels que grille-pain, ampoules à incandescence, plinthes et chauffe-eau électriques, ces résistances fonctionnant en courant continu ou alternatif quelle qu'en soit la fréquence. Par contre, les appareils tels que réfrigérateurs, téléviseurs, systèmes de son et tubes fluorescents, ne peuvent en général fonctionner qu'avec le courant stable du réseau (alternatif, 120 ou 240 volts, 60 hz) et nécessitent alors un convertisseur qui transforme en alternatif le courant continu des batteries. Il faut mentionner que le convertisseur est inutile si ces derniers appareils fonctionnent en courant continu comme certains en usage dans la marine.

Figure 14 — Organigrammes de différents modes de distribution et de stockage de l'énergie par l'éolienne

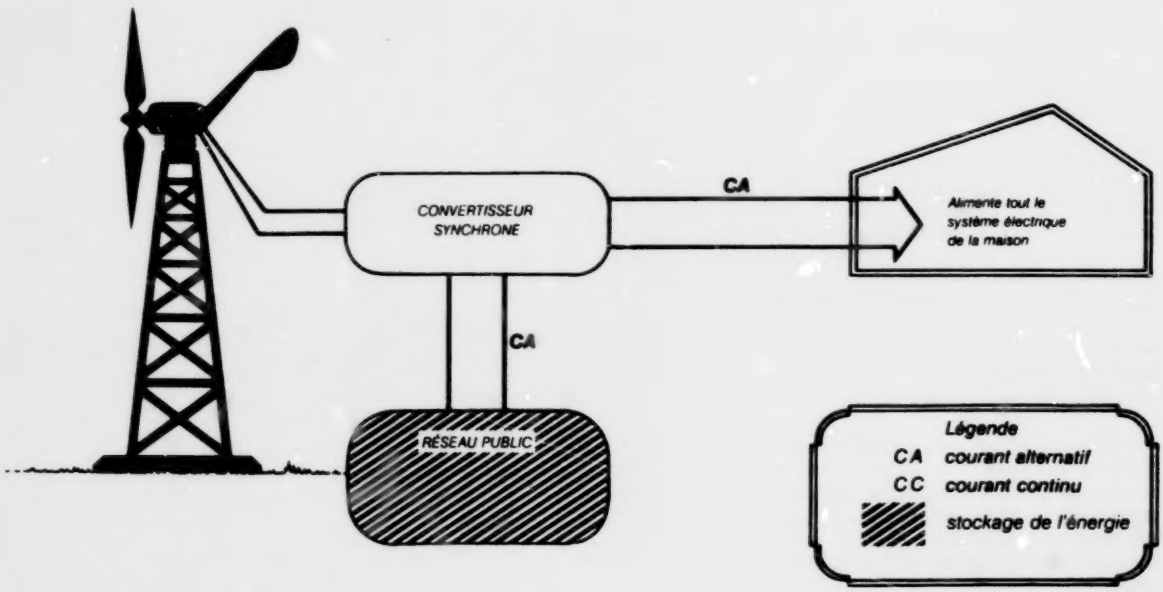
A) Chauffage de l'espace et de l'eau domestique



B) Alimentation d'appareils domestiques



C) Convertisseur synchrone



Pour le chauffage de l'eau et de l'espace, il est possible de se passer de batteries d'accumulateurs en connectant directement à l'éolienne les résistances électriques, celles-ci fonctionnant quel que soit le courant variable, alternatif ou continu issu de l'éolienne. C'est ainsi par exemple que sera alimentée la résistance du chauffe-eau, celui-ci faisant office de stockage de chaleur et devant être plus volumineux que les appareils conventionnels. De même, une résistance électrique logée dans un grand réservoir d'eau permet de chauffer la maison par des radiateurs ou par des gaines d'air avec un échangeur eau-air. La résistance peut aussi être logée dans une dalle épaisse qui fait office de plancher radiant. Enfin, si des plinthes électriques sont branchées sur l'éolienne, c'est la maison elle-même qui devra stocker la chaleur comme les maisons solaires passives. Donc, en ce qui concerne le chauffage électrique de l'eau et de l'espace, divers modes de stockage de chaleur peuvent se substituer au stockage électrique par batteries.

Le réseau public peut servir aussi de mode de stockage. L'excédent l'énergie fourni par l'aérogénérateur est envoyé dans le réseau, qui le retourne à la maison quand l'éolienne fait défaut. Cela est possible grâce à un convertisseur synchrone qui, en permanence, stabilise le courant variable sorti de l'éolienne en courant équivalent à celui du réseau. Un compteur réversible permet d'enregistrer ce que doit le réseau public et ce que l'utilisateur lui doit. Avant d'opter pour cette formule, très employée aux États-Unis, l'utilisateur doit faire une demande écrite à Hydro-Québec qui en évaluera le degré de sécurité.

Un dernier mode de stockage mérite d'être signalé. C'est la conversion directe de l'énergie mécanique de l'éolienne en chaleur, donc sans l'emploi d'alternateur: le rotor actionne un agitateur qui brasse un liquide (eau ou huile) et le réchauffe progressivement. Le réservoir bien isolé où se produit l'agitation du fluide joue le rôle de stockage thermique. La chaleur est ensuite acheminée vers la maison à travers les modes de distribution. Des travaux sont en cours, en particulier à l'Université Laval de Québec, pour en déterminer les modalités de réalisation les plus favorables.

CHOIX D'UN AÉROGÉNÉRATEUR

— *Maintenant que sont connus d'une part, le potentiel éolien du site et, d'autre part, les besoins en électricité de la résidence, il ne reste plus qu'à choisir une éolienne appropriée. Le but est de faire coïncider au mieux l'énergie fournie par l'éolienne (en kWh) avec l'énergie requise pour la résidence (en kWh) chaque mois, tous les deux mois ou chaque saison, durant un an. Cependant, les éoliennes, comme cela a été montré au début, ont une puissance qui varie suivant la vitesse de démarrage, la vitesse nominale, la vitesse d'éclipsage, etc. Ainsi deux éoliennes de même puissance nominale peuvent fournir des quantités d'énergie bien différentes selon lès vitesses de vent.*

— *Il convient d'abord de rechercher une éolienne dont la puissance nominale est acquise à partir d'une vitesse nominale qui s'approche le plus de la vitesse moyenne des vents chez vous durant l'année ou en particulier durant les mois où la demande est la plus forte: fin décembre, janvier, février.*

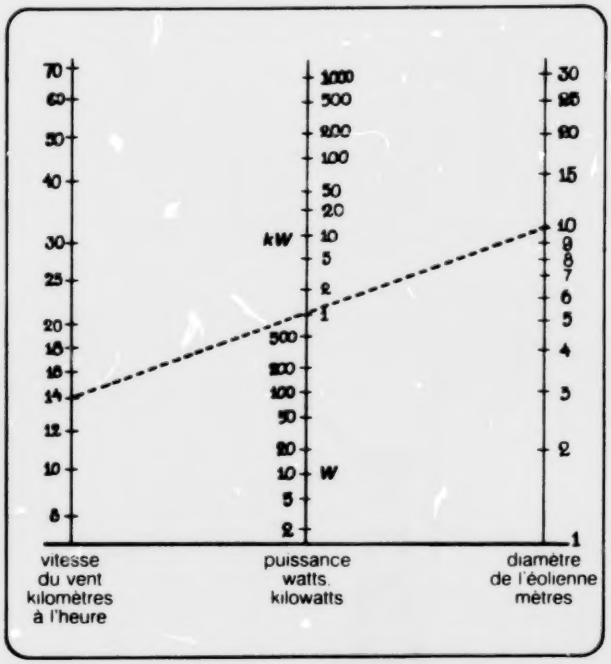
— *Pour avoir une première idée de la puissance nominale approximative dont l'utilisateur a besoin, il doit faire le rapport des besoins journaliers moyens qu'il veut voir combler par l'éolienne, sur la périodicité moyenne du vent (en heures par jour), puis il multiplie le résultat par 2 afin de prendre en compte les pertes globales de rendement de l'éolienne tout en sachant que la puissance nominale de l'éolienne n'est pas acquise en permanence. Des réajustements ultérieurs seront souvent nécessaires, ce mode de calcul restant très empirique.*

— *D'autres critères entrent en ligne de compte, comme le coût du système par rapport aux performances, comprenant le transport et la main-d'oeuvre, les garanties de durabilité et de fiabilité offertes par le fabricant et les frais d'entretien.*

— *Des exemples des calculs requis sont en annexe. Souvent les fabricants peuvent prendre à leur compte ces calculs qu'ils traitent surtout à l'aide de graphiques (courbes vitesse-durée et puissances, durée: voir en annexe).*

— *Pour avoir une idée des dimensions possibles des pales, voir fig. 15.*

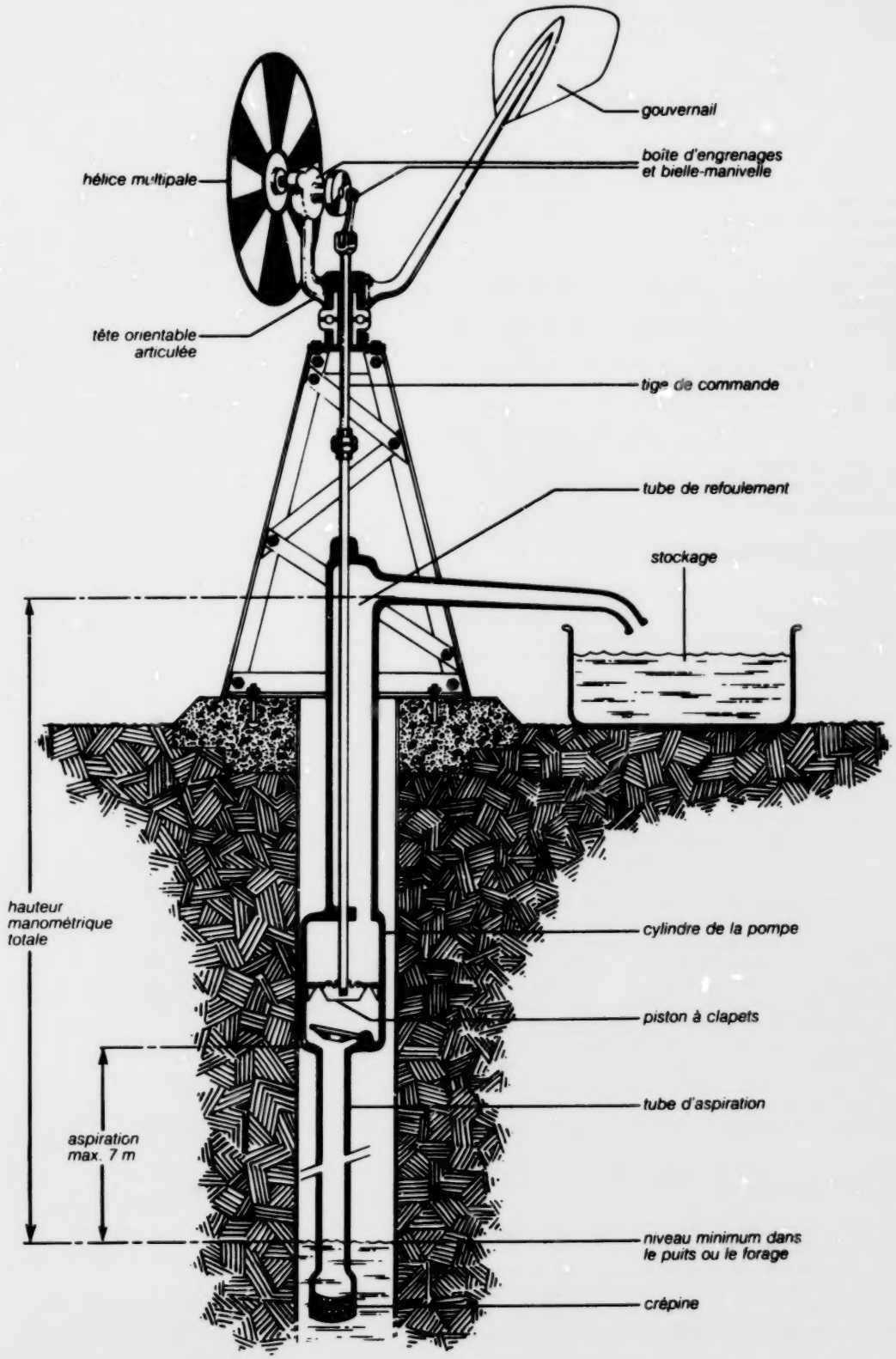
Figure 15 — Puissance utile, vitesse du vent et diamètre des pales



Ce graphique permet de calculer rapidement le rapport entre la vitesse du vent, le diamètre d'une éolienne (D) et la puissance obtenue. En reliant par une droite n'importe laquelle de ces variables à une autre (14 km/h et 10 m, par exemple), on obtient la valeur de la troisième variable sur l'échelle verticale au point d'intersection de la droite (1 kW dans le cas présent).

Source: L'énergie éolienne, Énergie, Mines et Ressources Canada.

Figure 16 — Schéma d'une installation de pompage éolien



ÉOLIENNES DE POMPAGE

Toutes les éoliennes vues précédemment peuvent être utilisées pour actionner des pompes électriques afin d'extraire l'eau d'un puits. Dans ce cas, l'énergie mécanique de l'éolienne qui est transformée en énergie électrique est retransformée en énergie mécanique. Aussi est-il plus rentable, si l'emploi d'une éolienne est uniquement cantonné dans ce genre de fonction et s'il est possible d'installer l'éolienne au-dessus ou à proximité immédiate du puits, d'utiliser une éolienne spécifique dont l'énegie mécanique est directement employée pour actionner en général une pompe à piston. La rotation de l'axe est transformée par une bielle en mouvement longitudinal. Cette pompe extrait l'eau d'un puits et l'achemine dans un réservoir de stockage. Les plus courantes sont les éoliennes Savonius et les multipales, ces dernières, utilisées depuis des décennies dans les fermes d'Amérique du Nord, après une éclipse, reviennent en force. En plus du potentiel éolien du site, il faut connaître la hauteur d'extraction de l'eau (hauteur monométrique) et le débit d'eau journalier désiré. Le fabricant fournira alors l'éolienne adéquate. Le réservoir sera fonction des périodes maximales de calme. C'est surtout les fermes qui pourraient avantageusement utiliser ce procédé, et certaines résidences éloignées du réseau pour l'eau courante (voir fig. 16).

COÛTS ET RENTABILITÉ

Il en coûte de 1 500 à 3 000 $ environ par kW de puissance d'éolienne (tout compris avec transport et main-d'oeuvre). Si on évalue à au moins de 5 à 10 kW les puissances requises dans une résidence moyenne, il en coûtera de 10 000 à 30 000 $ selon les cas pour y combler la totalité des besoins. C'est une solution parfois rentable dans les sites venteux et très éloignés du réseau public.

Par contre, l'autonomie énergétique pour les résidences proches du réseau n'est pas rentable, compte tenu en particulier du coût important du stockage requis et du convertisseur qui peut représenter plus de la moitié du coût total de l'installation. Il vaut mieux dans ce cas chercher à combler environ de 30 à 60% des besoins thermiques en se cantonnant dans le chauffage de l'espace et de l'eau avec un mode de stockage de chaleur qui se substitue au système de batteries et convertisseur. Il peut alors en coûter de 6 000 à 12 000 $ pour combler 50% des besoins de chauffage d'une résidence dans un site venteux. En réalité, du fait des particularités de chaque site, éolienne et mode de stockage, les calculs de rentabilité doivent se faire cas par cas. Finalement ce qui modère l'implantation des éoliennes au Québec, c'est le prix de l'électricité du réseau, bien plus bas que, par exemple, chez nos voisins du sud où justement les éoliennes prospèrent.

En ce qui concerne les grandes éoliennes, le Québec détient une expertise mondialement reconnue.

Une première éolienne de type Darrieus a été installée aux Îles-de-la-Madeleine en mai 1977: 46 mètres de hauteur; 24 mètres de diamètre; vitesse de rotation des pales: 36,6 tours/min.; 320 kilowatts, puissance capable de combler tous les besoins électriques de 30 maisons. Après plus de 1 000 heures d'opération, une quantité considérable et précieuse de données expérimentales a pu être recueillie. La «géante des Îles» est maintenant intégrée au réseau d'Hydro-Québec.

Forts de ces résultats encourageants, le Conseil national de recherche du Canada (CNRC) et l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) envisagent d'ériger une super-Darrieus géante à Cap-Chat, Éole: haute de 110 m (environ comme l'édifice d'Hydro-Québec); 64 mètres de diamètre; vitesse de rotation: 14,5 tours/min. et développant 4 000 kilowatts, puissance suffisante pour éclairer et chauffer 400 maisons. Sa mise en service est prévue vers la fin de 1985. Si les essais effectués sur Éole confirmaient les résultats des études, on pourrait envisager l'aménagement futur de parcs d'éoliennes géantes.

ANNEXES

CALCUL DES DIMENSIONS DU STOCKAGE (par batterie d'accumulateurs en plomb)

La capacité des batteries d'accumulateurs se mesure en ampère-heure et exprime le produit de l'intensité du courant (ampère) par le temps de décharge des batteries (heure):

Capacité = intensité × temps

Cette capacité se calcule en fonction de la période sans vent la plus longue (en général en janvier) au cours de laquelle les accumulateurs doivent subvenir aux besoins en énergie de la résidence.

Rappel: Énergie = puissance × temps

Et: Puissance électrique = tension du courant (volt) × intensité du courant (ampère)

Soit: 1 watt = 1 volt × 1 ampère (parfois les puissances nominales sont exprimées en kVA plutôt qu'en kW).

Revenons à nos batteries:

$$\text{Capacité} = \text{intensité} \times \text{temps} = \frac{\text{intensité} \times \text{temps} \times \text{tension}}{\text{tension}}$$

$$= \frac{\text{temps} \times \text{puissance}}{\text{tension}} = \frac{\text{Énergie}}{\text{tension}}$$

$$\text{Donc la capacité} = \frac{\text{Énergie requise (watt-heure)}}{\text{tension requise (volt)}}$$

Application numérique:

— Supposons la tension requise à 120 volts.

— L'énergie que doivent fournir les accumulateurs: besoins d'énergie de la résidence en janvier estimés à 700 kWh, soit par jour:

$$\frac{700 \text{ kWh}}{30 \text{ jours}} = 23 \text{ kWh par jour}$$

— Période sans vent maximale supposée: 1,5 jour, au cours de laquelle les besoins se chiffrent à:
1,5 × 23 = 34,5 kWh = 34 500 Wh

Soit: $\frac{\text{Énergie}}{\text{tension}} = \frac{34\,500}{120} = 287$ ampères-heure.

— Pour plus de sécurité il est recommandé de multiplier ce résultat par 1,5 à 2, soit: 500 Ah seront choisis.

— Comment disposer les batteries afin d'obtenir à leurs bornes la tension requise?

- Les batteries sont généralement vendues en unités de 2, 6 ou 12 volts (parfois 24 ou 36 volts). Le nombre de batteries nécessaires sera calculé d'après la tention requise: par exemple, avec des unités de 2 volts, il faut: 60 unités de batteries de 2 volts branchées en série.

CALCUL DES AÉROGÉNÉRATEURS

L'utilisateur connaît donc son potentiel éolien. Il est surtout intéressé à utiliser une éolienne pour combler les besoins de chauffage de l'eau domestique. Un premier calcul lui donnera une idée approximative de la puissance nominale désirée; périodicité moyenne du vent dans le site: 10 heures par jour. Les besoins énergétiques journaliers moyens pour le chauffe-eau sont supposés être: 10 kWh.

Puissance nécessaire:

$$\frac{\text{Besoins quotidiens (kWh)}}{\text{Périodicité du vent (h)}} \quad \frac{10}{10} = 1 \text{ kW}$$

Comme on l'a vu au chapitre «choix d'un aérogénérateur», il est recommandé de multiplier ce chiffre par 2, soit par exemple:
1 kW × 2 = 2 kW.

L'utilisateur va donc rechercher plusieurs types d'éoliennes de cette puissance. Il en choisira une dont le prix et les garanties offertes lui semblent corrects et dont la vitesse nominale est la plus proche de la vitesse moyenne des vents (7 m/s): vitesse nominale: 7 m/s; vitesse de démarrage: 4 m/s; vitesse de décrochage: 20 m/s. Chaque puissance de l'éolienne en fonction des vents est inscrite dans ce tableau effectué pour le mois de janvier.

Vitesse des vents	Durée	Puissance de l'éolienne		Énergie fournie
de 0 à 4 m/s	15 h	0 kW	15 × 0 :	0 kWh
de 4 à 5 m/s	20 h	0,3 kW	20 × 0,3:	6 kWh
de 5 à 6 m/s	35 h	1,1 kW	35 × 1,1:	38,5 kWh
de 6 à 7 m/s	115 h	1,7 kW	115 × 1,7:	195,5 kWh
de 7 à 8 m/s	122 h	2 kW	122 × 2 :	244 kWh
de 8 à 9 m/s	43 h	2 kW	43 × 2 :	86 kWh
de 9 à 20 m/s	6 h	2 kW	6 × 2 :	12 kWh
plus de 20 m/s	13 h	0 kW	13 × 0 :	0 kWh
			TOTAL	582 kWh

Voici donc l'énergie que va fournir en moyenne ce type d'éolienne pour janvier. Quels besoins énergétiques de la résidence peut-elle combler?

Besoins estimés pour janvier

- Appareils électriques (cuisinière, téléviseur, etc.) 700 kWh
- Chauffage de l'espace (plinthes électriques) 2 200 kWh
- Chauffage de l'eau domestique (type Cascade) 400 kWh

— Utilisation de l'éolienne pour le chauffage de l'espace:

Besoins: 2 200 kWh; l'éolienne en fournit 582 soit:

$\frac{582 \times 100}{2\,200}$ = 30% des besoins, à condition qu'existe un stockage adéquat

— Pour le chauffage de l'eau, l'éolienne subvient aux besoins à 100% avec un excédent de 582 − 400: 182 kWh. Cet excédent est en réalité plus faible étant donné que le chauffe-eau (prévu pour 4 personnes: 200 litres) n'est pas assez grand pour jouer pleinement le rôle de réservoir tampon entre les besoins des usagers et la fourniture intermittente d'énergie de l'éolienne (300 litres aurait été souhaitable par exemple).

— Pour l'alimentation des appareils électroménagers: besoins de 700 kWh

Éolienne: 582 kWh, soit:

$\frac{582 \times 100}{700}$ = 83%, à condition qu'un stockage adéquat soit prévu en conséquence.

Considérant le rendement global avec redresseur, batteries et convertisseurs, évalué à 70%, c'est en réalité moins de 60% des besoins auxquels subvient l'éolienne pour l'ensemble des appareils domestiques.

Finalement, compte tenu de son budget, l'utilisateur fidèle à sa première idée décide de se passer complètement de stockage par batteries, et de se servir de l'éolienne pour combler les besoins de chauffage de l'eau domestique, le surplus étant envoyé dans une plinthe électrique de la salle à manger. Il calcule qu'en juillet, par exemple, les vents étant bien plus faibles, l'éolienne fournit alors 300 kWh comblant 70% des besoins de chauffe-eau. Il calcule dans l'année que 60% des besoins de chauffe-eau sont comblés.

Dans le même site, l'utilisateur calcule ce que lui fournirait une éolienne de 6 kW de puissance nominale atteinte pour des vents à partir de 12 m/s, et qui s'arrête à des vitesses supérieures à 30 m/s. Dans quelle proportion seront comblés les besoins de chauffage?

Vitesse des vents	Durée	Puissances		Énergie fournie
0 à 4 m/s	15 h	0,2 kW	15 × 0,2 :	3 kWh
4 à 5 m/s	20 h	0,45 kW	20 × 0,45:	9 kWh
5 à 6 m/s	35 h	0,80 kW	35 × 0,80:	28 kWh
6 à 7 m/s	115 h	1,65 kW	115 × 1,65:	190 kWh
7 à 8 m/s	122 h	2,20 kW	122 × 2,20:	268 kWh
8 à 9 m/s	43 h	3,30 kW	43 × 3,30:	142 kWh
9 à 20 m/s	6 h	6,00 kW	6 × 6 :	36 kWh
plus de 20 m/s	13 h	6,00 kW	13 × 6 :	78 kWh
plus de 30 m/s	0 h	0 kW	0 × 0 :	0 kWh
			TOTAL:	754 kWh

Besoins de chauffage:

2 200 kWh, soit $\frac{754 \times 100}{2\,200} = 34\%$,

pourcentage faible par rapport au précédent compte tenu que l'on passe de 2 kW à 6 kW de puissance nominale de l'éolienne. Cela est dû au fait que la vitesse nominale (12 m/s) est bien trop supérieure à la moyenne des vents en janvier (7 m/s). L'éolienne de ce type n'est donc pas adéquate pour ce site.

La même éolienne va être employée dans un site venteux et très éloigné du réseau public où la vitesse nominale correspond à la vitesse moyenne des vents enregistrés dans ce site. Elle doit combler la presque totalité des besoins.

Vitesse des vents	Durée	Puissances	Énergie fournie
0 à 6 m/s	15 h	0,5	7,5 kWh
6 à 8 m/s	25 h	1,65	41,0 kWh
8 à 10 m/s	110 h	3,3	360,0 kWh
10 à 12 m/s	160 h	5,0	750,0 kWh
12 à 14 m/s	38 h	6,0	228,0 kWh
14 à 16 m/s	9 h	6,0	54,0 kWh
		TOTAL	1 433,0 kWh

Il s'agit d'une petite habitation de vacances consommant au total pour janvier: 1 200 kWh. Un stockage par batteries au plomb est prévu pour combler la totalité des besoins. La perte de rendement global fait que l'éolienne parvient juste à combler les besoins. En été, les vents sont faibles mais suffisants pour répondre à la demande du chauffe-eau et des appareils domestiques.

TRANSMISSION (exemple de calcul)

vitesse spécifique $(\lambda) = \frac{\text{vitesse en bout de pale}}{\text{vitesse du vent}}$

$\lambda = \frac{u}{v}$ $\quad u = \lambda \times v$

Par exemple:

$\lambda = 5$ $\quad v = 7$ *m/s (moyenne des vents)*

$u = 5,7 = 35$ *m/s*

$u = R\omega$ *(ω: vitesse de rotation en radian / seconde):*

$\omega = \frac{2\pi n}{60}$

$u = \pi \frac{Dn}{60}$ *où* $\pi = 3,14$ $\quad D =$ *diamètre des pales (ex.: 7,6 m)*

$n =$ *nombre de tours par minute*

$n = \frac{60 \times u}{\pi \times D} = \frac{60 \times 35}{3,14 \times 7,6} = 88$ *tours/minute*

Le rapport de transmission =

$$\frac{\text{vitesse de rotation du générateur}}{\text{vitesse de rotation de l'éolienne}}$$

Pour une génératrice qui tourne à 1 200 tours/minute, on obtient le rapport de transmission:

$\frac{1\,200}{88} = 13,6$

POMPAGE (exemple de calcul)

- *besoins exprimés: 2 000 litres par jour*
- *hauteur manométrique (profondeur du puits) H = 20 m*
- *périodicité du vent: 5 h/jour*
- *calme maximum: 2 jours*

Débit d'eau requis:

$= \frac{\text{Besoins}}{\text{Périodicité du vent}} = \frac{2\,000}{5} = 4\,000$ *l/heure*

$= \frac{400 \text{ (l/h)} \times 1 \text{ (kg/litre)}}{3\,600 \text{ (s/heure)}} = 0,111$ *kg/s*

La puissance requise s'exprime comme suit:

$P = \frac{\text{Débit} \times H \times g}{\text{rendement global}}$

Débit = 0,111 kg/s $H = 20$ *m* $g = 9,8$ *m/s²* *(pesanteur)*

Rendement global (éolienne + pompe) estimé à 0,45

$P = \frac{0,111 \times 20 \times 9,8}{0,45} = 48$ *watts*

Ce chiffre multiplié par un facteur 2 donne la puissance nominale que l'éolienne devrait avoir, soit environ 100 watts.

Stockage: 2 jours de calme × 2 000 litres = 4 000 litres d'eau

Pour plus de sécurité, une capacité de 6 000 à 8 000 litres devrait être prévue.

GRAPHIQUES

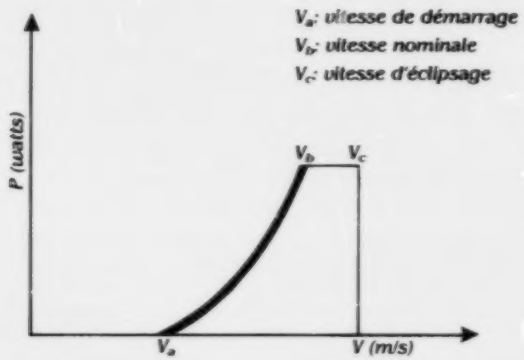
Les plus forts en mathématiques peuvent effectuer les calculs requis à l'aide de graphiques fournis par certaines stations météorologiques.

— *Les caractéristiques de l'éolienne (ses différentes puissances, en watts, selon chaque vitesse de vent, vitesse de démarrage, nominale, d'éclipsage) sont consignées dans le 1er graphique: c'est la courbe puissance-vitesse.*

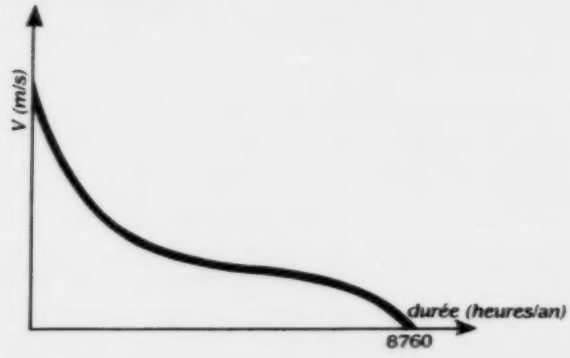
— *Le potentiel éolien dans le site considéré est consigné dans le 2e graphique: en abscisse, les heures de vent (total annuel de 8 760 heures) et en ordonnée, les vitesses cumulatives des vents. On peut déterminer le nombre d'heures pendant lesquelles la vitesse du vent est supérieure à une valeur choisie et, en conséquence, le nombre d'heures de vent pour une tranche de vitesse choisie: c'est la courbe vitesse-durée.*

— *Enfin, l'énergie que peut fournir l'éolienne est représentée dans le 3e graphique qui se déduit des 2 précédents. Les caractéristiques de l'éolienne considérée indiquent les puissances acquises pour chaque vitesse de vent (graphique 1). Il suffit alors de les appliquer dans le graphique 2 où en ordonnée les puissances remplacent les vitesses. La courbe vitesse-durée devient alors une courbe puissance-durée. L'énergie fournie est en hachuré (Énergie: puissance × par temps d'utilisation: intégrale de la courbe).*

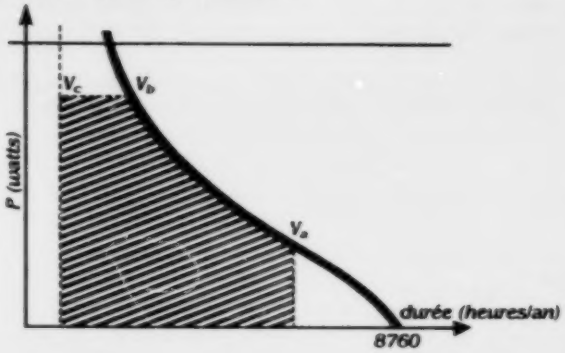
Courbe puissance-vitesse (caractéristiques de l'éolienne)



Courbe vitesse-durée (potentiel éolien du site)



Courbe puissance-durée
(énergie totale fournie par l'éolienne)



ÉQUATIONS

Le coefficient de puissance: $C_p = \frac{P\ utile}{P\ vent}$

La puissance du vent captée par l'éolienne se définit par l'équation suivante:

$P\ vent = \frac{1}{2} \rho S V^3$

- où S est la surface balayée par les pales (m^2)
- V est la vitesse des vents (m/s)
- ρ est la masse volumique de l'air (densité): 1,25 kg/m^3

La puissance captée est directement proportionnelle à la surface balayée et proportionnelle au cube de la vitesse:

$S = \pi R^2$ où $\pi = 3,14$
R: rayon de la surface balayée (donc longueur des pales)

L'expression peut encore s'écrire:

$P\ vent = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V^3$ (puissance proportionnelle au carré du rayon)

On sait que la puissance maximale extraite est définie par la limite de Betz (59,3%):

$P\ max = \frac{59,3}{100} \times P\ vent = 0,593 \times P\ vent$

La puissance utile, effectivement disponible à la sortie de l'éolienne, serait égale à la puissance maximale si chaque élément de l'éolienne fonctionnait à 100% de rendement, ce qui n'est pas le cas.

Par exemple, le rendement aérodynamique de l'hélice (par rapport à la limite de Betz): 60%
rendement mécanique (transmission, engrenages, etc.): 98%
rendement de l'alternateur et du transformateur: 94%

En multipliant tous ces facteurs, on obtient un rendement de 55% par rapport à la limite de Betz.

$P\ utile = 0,55 \times P\ max$
$= 0,55 \times 0,593 \times P\ vent$

Dans ce cas le coefficient de puissance Cp = 0,55 × 0,593 = 0,32, qui définit le rendement global de l'éolienne.

(D'autres pertes d'énergie pourront encore se faire de l'éolienne à la résidence selon chaque type d'utilisation: perte de ligne, par batteries, convertisseurs, etc.)

$P\ utile = Cp \times P\ vent = Cp \frac{1}{2} \times \rho \times SV^3$

Il est possible grâce à cette équation de connaître la surface désirée et donc le diamètre des pales.

$$S = \frac{2P}{\rho \times V^3 \times Cp}$$

$$S = \pi R^2 \rightarrow R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

$$R = \sqrt{\frac{2P}{\pi \rho V^3 Cp}}$$

La puissance utile par unité de surface (m^2):

$\frac{P}{S} = Cp \times 1/2\ V^3$, *etc.*

La surface appliquée aux pales est définie par l'équation:

$F = C_t \times 1/2\ \rho \times SV^2$ *Elle se décompose en portance (N) et traînée (T)*

$N = C_n \times 1/2 \times SV^2$

$T = C_t \times 1/2 \times SV^2$

C_t, C_n, C_t sont des coefficients qui dépendent de l'angle d'attaque du vent sur les pales et du profilé des pales.

$\vec{F} = \vec{N} + \vec{T}$ *(exprimées en newton, kg·m/s²)*

Le couple de forces: $M = F \times R$ *(R: bras de levier, c'est le rayon de la surface balayée)*

Puissance: $P = M \times \omega$ $\frac{(newton \times m)}{s}$

ω: vitesse de rotation exprimée en radians/seconde

C'est une autre expression de la puissance qui est, par définition, une mesure de travail effectuée par unité de temps: c'est donc le produit du couple de force transmis à l'axe par la vitesse de rotation (radians par seconde).

$u = R\omega \rightarrow \frac{u}{R} = \omega = \lambda \frac{V}{R}$

u: vitesse en bout de pales (m/s)

V: vitesse du vent (m/s)

R: rayon de la surface balayée (m)

λ: vitesse spécifique

En substituant M et ω par leur valeur exposée plus haut, on retrouve l'équation initiale de la puissance:

$P = M\omega = C_t\ 1/2\ \rho\ SV^3$

La boucle est ainsi bouclée.

MANUFACTURIERS-DISTRIBUTEURS AU QUÉBEC

COMMUNICATIONS LEBLANC & ROYLE INC. (LES)
3450, boul. Losch
SAINT-HUBERT (Québec)
J3Y 5T6
Contact: M. Gérard A. MacPherson
(514) 462-0222

- Distributeur des éoliennes de marque «North Wind» (États-Unis).

EXTRAWATT INC.
B.P. Hamel, C.P. 15
SAINT-JEAN-DE-LA-LANDE
Comté Beauce (Québec)
G0M 1E0
Contact: M. Martin Cloutier
(418) 228-5999

- Fabrication et vente d'une éolienne tripale à axe horizontal, fournissant 8 kW CA avec des vents 30 mph et d'un autre modèle 12 volts CC avec des vents 15 mph.
- L'hélice de 14'3" de diamètre est fabriquée de fibre de verre et d'uréthane. Les pales sont munies d'un mécanisme régulateur à pas variable.
- L'éolienne est vendue avec tous les accessoires requis pour son installation ainsi qu'une tour de métal facile à ériger et qui se descend à volonté.
- Modèle de 15 kW: en préparation pour l'automne 1982.
- Modèles plus gros disponibles sur commande seulement.

PETRO-SUN INC.
Division de Thermo-Solar
2290, rue de la Métropole
LONGUEUIL (Québec)
J4G 1E6
Contacts: M. Jacques Sicotte, prés.
M. Michel Sicotte
(514) 670-8043

- Distributeur de système de transformation de l'énergie éolienne de petite ou grande puissance en énergie utilisable (mécanique, électrique, etc.).
- Possède une licence donnant l'exclusivité pour la vente et l'assemblage au Canada des éoliennes «Aérowatt» de série UM70, de 2 à 25 kW de puissance nominale. Mondialement connues, ces éoliennes peuvent supporter les pires conditions climatiques et profitent au maximum de toutes les intensités des vents.

SOL-ÉOLE INC.
841, rue Labrie
HAUTERIVE (Québec)
G5C 1T6
Contact: M. Roger-Carl Barthe
(418) 589-2429

- Compagnie oeuvrant dans la consultation en énergie solaire et éolienne.
- Diverses applications à l'économie d'énergie fossile: maisons et serres solaires, dômes géodésiques, maisons enfouies, etc.
- Également dépositaire et installateur d'éoliennes pour la compagnie Extrawatt Inc.
- Voir aussi Groupe Solerg 49 Inc. (section R&D).

TRÉPANIER INC. (F.)
680, 30e Rue ouest
SAINT-GEORGES-OUEST
Beauce (Québec)
G5Y 4H4
Contacts: M. Fernand Trépanier
M. Martial Audet
(418) 228-0049
(418) 228-4078

- Fabrication, vente et installation d'éoliennes tripales à axe horizontal munies d'un système régulateur à pas variable, utilisables exclusivement pour fins de chauffage.
- Modèle disponible de 7 kVA monophasé. Le diamètre de l'hélice est de 4 m.
- Aussi, modèle de 10 kVA triphasé (diamètre de l'hélice: 5,2 m).
- Un autre modèle de 50 kVA monophasé à 400 Hz sera prochainement disponible (diamètre de l'hélice: 9,5 m).
- Voltage limité à 250 volts pour toutes les éoliennes.

ÉOLTEC NRJ INC.
119, rue Elgin
GRANBY
(Québec)
J2G 4V4
Contact: M. Jean-Pierre Racine
(514) 375-7099

- Fabrication et vente d'éoliennes à 5 pales à axe horizontal munies d'un système régulateur et d'éclipsage.
- Modèle disponible de 10 kVA.
- Accessoires et contrôles disponibles.

RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT AU QUÉBEC

ANCTIL, MARIUS ET JACQUES
525, de la Falaise
SAINT-DAVID-DE-LÉVIS
(Québec)
G6W 1A4
Téléphone: (418) 837-8638

- Construction d'une éolienne à axe vertical de type Darrieus à 2 pales, d'une puissance de 6 kW et munie d'un nouveau type de guidage.
- Projet pour une éolienne «Savonius» autocontrôleur de 4 kW.
- Fabrication d'ondulateurs sur demande ainsi que divers circuits électriques.
- Projet de construction d'un ondulateur de 2 kW.
- Ondulateur: appareil transformant un voltage CC en un voltage CA de niveau supérieur en amplitude.

BOILY, DENIS ET AL.
304, rang Saint-Louis
DELISLES (Québec)
G0W 1L0

Contacts: M. Denis Boily (418) 662-4156
M. Jacques Dallaire (418) 344-1727
M. Jacques Fortin
M. André Larouche

- *Construction et expérimentation d'une éolienne à axe vertical de type Darrieus: 16 pieds (5 mètres) de diamètre, montée sur une tour de 20 pieds (6 mètres), faite de pales constituées de bois laminé monté sur une tige d'acier recouvert d'une feuille métallique.*
- *L'éolienne est installée chez M. Jacques Dallaire, rang Saint-Isidore, Notre-Dame d'Hébertville, Lac Saint-Jean.*

CENTRE D'ÉTUDE DES MATÉRIAUX PLASTIQUES BÉLANGER LTÉE
Case postale 610
304, route 122
SAINT-GERMAIN-DE-GRANTHAM (Québec)
J0C 1K0

Contact: M. Germain Bélanger (819) 395-4214

- *Développement de prototypes et de procédés de fabrication de pales d'éoliennes en fibre de verre-plastique.*
- *Ingénieur-conseil spécialisé dans le développement des matériaux «composites» (conception, techniques de production et utilisations).*
- *Étude complétée du potentiel des «composites» dans la fabrication de pales d'éoliennes, réalisée pour l'Institut de génie des matériaux du Conseil national de recherches.*

GAUCHER, PRINGLE CONSULTANTS LTÉE
Conseillers en administration
245, avenue Victoria
MONTRÉAL (Québec)
H3Z 2M6

Contacts: M. Simon Latraverse
M. Pierre Laborde (514) 935-2571

- *Consultants spécialisés dans le domaine de l'énergie ayant réalisé plusieurs études en énergies nouvelles.*
- *Développement d'une éolienne à axe vertical (WEC-B) d'une puissance allant de 20 W à 50 kW, selon le modèle.*

GROUPE SOLERG 49 INC.
841, rue Labrie
HAUTERIVE (Québec)
G5C 1T6

Contact: M. Roger-Carl Barthe (418) 589-2429

- *Corporation à but non lucratif vouée à la promotion des énergies nouvelles et à la conservation de l'énergie.*
- *Expérimentation sur diverses installations d'éoliennes.*

Promotion de la maison autonome par une série de cours offerts sur l'utilisation de l'énergie éolienne, solaire, etc.

INSTITUT DE RECHERCHE BRACE
Collège MacDonald de l'université McGill
SAINTE-ANNE-DE-BELLEVUE (Québec)
H9X 1C0

Contacts: M. T.A. Lawand
M. Jacques Le Normand
M. A. Skelton (514) 457-2000 poste 255 ou 272

- *Centre de recherche ayant complété plusieurs réalisations solaires et éoliennes.*
- *Le département des publications de l'Institut envoie, sur demande, la liste des nombreuses publications et plans de fabrication (écrits en plusieurs langues) qui permettent aux intéressés de construire leur propre éolienne, serre, chauffe-eau, distillateur, séchoir agricole, cuisinière solaire, etc.*

INSTITUT DE RECHERCHE D'HYDRO-QUÉBEC (IREQ)
Case postale 1000
1800, Montée Sainte-Julie
VARENNES (Québec)
J0L 2P0

Contacts: M. Albert Watts (514) 652-8509
M. Bernard Saulnier (514) 652-8594

- *Centre de recherche spécialisé en production, transport et stockage d'énergie.*
- *Impliqué dans la recherche sur l'énergie éolienne depuis 1975, surtout dans le développement des grands aérogénérateurs à axe vertical de type Darrieus (ex.: projet d'une éolienne Darrieus de 4 MW de puissance).*
- *Expertise dans les domaines suivants:*
  - *— modélisation des vents*
  - *— performance aérodynamique des éoliennes*
  - *— dynamique structurale des éoliennes*
  - *— simulation d'aérogénérateurs reliés à un réseau électrique*
  - *— expérimentation des systèmes éoliens*
- *Travaille en collaboration étroite avec Hydro-Québec, le Conseil national de recherches du Canada, les universités québécoises et l'industrie québécoise.*

PARINOVA INC.
3333, Jean Talon ouest, app. 516
MONTRÉAL (Québec)
H3R 2G1

Contact: M. Jean Paris, ing. (514) 344-4921

- *Recherche et développement, consultation en gestion de l'énergie et énergies nouvelles.*

PRATT & WHITNEY AIRCRAFT DU CANADA LTÉE
Division Industrie marine
Case postale 10
LONGUEUIL (Québec)
J4K 4X9

Contact: M. Jean-Marc Fournier (514) 677-9411

- *Développement à travers la maison-mère United Technologies (É.-U.) et sa filiale Hamilton Standard d'une éolienne à axe horizontal de 4 MW qui pourra éventuellement être adaptée au marché québécois.*
- *Il s'agit d'une éolienne à deux pales en fibre de verre d'un diamètre de 78,1 mètres et tournant à la vitesse de 30 t.p.m. La nacelle contenant l'alternateur et l'équipement associé est montée sur une tour en acier de près de 80 mètres de haut et possédant un diamètre de 3,65 mètres à la base.*
- *Une première unité entrera en service au cours de l'été 1982 à Medecine Bow, Wyoming.*

TURCOTTE, JEAN-MARC ET JULES
3190, 42e Rue nord
SAINT-GEORGES OUEST
Comté Beauce (Québec)
G5Y 5B7

Contacts: M. Jean-Marc Turcotte (418) 228-6936
M. Jules Turcotte (418) 228-4553

- *Fabrication artisanale d'une éolienne tripale à axe horizontal couplée à une génératrice de 15 kVA.*
- *Opérationnelle depuis octobre 1978, cette éolienne fournit environ 25% des besoins de chauffage de l'eau chez M. Jean-Marc Turcotte.*
- *L'électricité produite est acheminée vers deux chauffe-eau d'environ 5 000 gallons (22 917 litres).*
- *Mise en marche à l'automne 1982 d'une éolienne de 30 pieds (9 mètres) de diamètre avec une génératrice de 75 kVA.*

UNIVERSITÉ LAVAL
Laboratoire d'études et développement en énergies nouvelles (EDEN)
Département de génie mécanique
Cité universitaire
SAINTE-FOY (Québec)
G1K 7P4

Contacts: M. H. Gérardin (418) 656-2106
M. E.J. Dickinson (418) 656-2414
EDEN (418) 656-3302
M. Philippe Viarouge

- *Groupe de recherche en énergie solaire et éolienne.*
- *Design d'éoliennes à axe vertical et de systèmes anémométriques. Pompage de l'eau, chauffage et autres applications domestiques.*

Essai en cours d'une éolienne constituée de deux turbines verticales (250 W avec vent de 15 mph) sur le toit de la faculté.

- *Supervision de l'installation et évaluation du comportement d'une éolienne Aérowatt (4 kW) au «Parc des anciens combattants» (Lauzon, Québec).*
- *Design, construction et essai d'un aérogénérateur Darrieus (tripale à vitesse variable) d'une puissance nominale de 10 kW, pour différents systèmes électriques associés, soient:*
  - *— un générateur asynchrone*
  - *— un générateur synchrone autopiloté.*

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Département de génie mécarique et département de physique
SHERBROOKE (Québec)
J1K 2R1

Contacts: M. B. Ashikian
M. N. Galanis
M. M. Krell
M. A. Laneville
M. Y. Mercadier
(819) 565-4490
(819) 565-3586

- *Centre de recherche sur l'énergie solaire et l'énergie éolienne.*
- *Développement de convertisseurs d'énergie pour éoliennes et étude des interactions entre les composantes.*
- *Évaluation des performances de trois systèmes (électrique, solaire et éolien) pour le chauffage de l'eau domestique.*
- *Construction d'un système de chauffage éolien avec turbine à axe horizontal de 6 kW.*
- *Conception complétée d'une éolienne à axe horizontal de 1 kW fabriquée en plastique renforcé de fibre de verre par la compagnie Bombardier.*
- *Utilisation de l'énergie éolienne pour produire de l'hydrogène par électrolyse.*

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI (UQAC)
Module de physique
930, boul. Jacques Cartier est
CHICOUTIMI (Québec)
G7H 2B1

Contact: M. André Leblond (418) 545-5672

- *Réalisation d'une éolienne tripale à axe horizontal (1,2 kW).*

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES
Département d'ingénierie
Case postale 500
TROIS-RIVIÈRES (Québec)
G9A 5H7

Contacts: M. V. Rajagopalan
M. Hoang Le-Huy
M. André Jacob
(819) 376-5681

- *Spécialistes en convertisseurs électroniques de puissance examinant les possibilités d'utilisation de ces derniers dans le domaine des énergies nouvelles.*
- *Recherche et développement de convertisseurs statiques adaptés au schéma de génération de l'électricité à partir d'une source éolienne à vitesse variable.*

PUBLICATIONS DANS LE DOMAINE DES ÉOLIENNES

ÉOLIENNES ET AÉROGÉNÉRATEURS. GUIDE DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE
par Guy Cunty

1979, 160 p., 17,60 $, Coll. Technologies douces (Edisud)
ISBN 2-85744-038-3

Guide faisant connaître les moyens d'utiliser l'énergie éolienne pour la production d'énergie électrique et le pompage.

Disponible chez: Éditions Arts, Lettres et Techniques Inc.
901, boul. Sainte-Croix
SAINT-LAURENT (Québec)
H4L 3Y5

THE HELIUS WIND BOOK
par Colin Kerr

Juillet 1979, 56 p., 3,00 $

Généralités sur le vent, sur l'énergie éolienne et son rendement, et sur les différents types d'éoliennes; détails sur le système éolien Hélius.

Disponible chez: Thermax Canada Limited
P.O. Box 275
HAWKESBURY (Ontario)
K6A 2R9

IMPLICATIONS OF THE UTILIZATION OF WIND POWER FOR THE DEVELOPMENT OF SMALL CARIBBEAN COMMUNITIES
par R.E. Chilcott

Février 1968, révisé novembre 1971, 12 p., 1,75 $ (Rapport nº R25)

Commentaires sur les conséquences de l'utilisation de l'énergie éolienne pour le pompage de l'eau dans les localités rurales des Caraïbes. Analyse des performances de l'éolienne rapide Brace testée dans cette région.

Disponible chez: Institut de recherches Brace
Département des publications
Collège MacDonald de l'Université McGill
SAINTE-ANNE-DE-BELLEVUE
(Québec)
H9X 1C0

INVESTIGATIONS CONCERNING SAVONIUS ROTORS AND RELATED MACHINES
par G. Bach. Traduit par G.T. Ward

Juin 1931, 1964, 23 p., 2,00 $ (Rapport nº T41)

Présentation des résultats de recherches expérimentales sur les performances de l'éolienne Savonius.

Disponible chez: Institut de recherches Brace
Département des publications
Collège MacDonald de l'Université McGill
SAINTE-ANNE-DE-BELLEVUE
(Québec)
H9X 1C0

LOW COST WIND SPEED INDICATOR

Juillet 1979, Dessin D-5-089, 2,50 $ (Publication nº T113)

Plan pour un simple indicateur de vitesse du vent qui peut être installé sur le site potentiel d'une éolienne.

Disponible chez: Institut de recherches Brace
Département des publications
Collège MacDonald de l'Université McGill
SAINTE-ANNE-DE-BELLEVUE
(Québec)
H9X 1C0

MARCHE À SUIVRE POUR DÉTERMINER LA DÉSIRABILITÉ DE L'UTILISATION DES ÉOLIENNES POUR LE POMPAGE DE L'EAU SUR UNE FERME
par J. Le Normand, A. Skelton et L. Ghanimé

Septembre 1978, 5 p., 1,00 $ (Fiche nº F7)

Cette brochure montre à l'agriculteur ou au fermier comment utiliser l'énergie éolienne pour le pompage de l'eau.

Disponible chez: Institut de recherches Brace
Département des publications
Collège MacDonald de l'Université McGill
SAINTE-ANNE-DE-BELLEVUE
(Québec)
H9X 1C0

Disponible également en version anglaise sous le titre METHODOLOGY OF APPROACH TO BE FOLLOWED IN DETERMINING THE DESIRABILITY FOR UTILIZING WINDMILLS FOR WATER PUMPING ON THE FARM, (Fiche nº F1).

PERFORMANCE TEST OF A SAVONIUS ROTOR
par M.H. Simonds et A. Bodek

Janvier 1964, 17 p., 2,25 $ (Rapport nº T10)

Analyse des résultats d'un test de performance de l'éolienne Savonius.

Disponible chez: Institut de recherches Brace
Département des publications
Collège MacDonald de l'Université McGill
SAINTE-ANNE-DE-BELLEVUE
(Québec)
H9X 1C0

SITE SELECTION AND EVALUATION HANDBOOK FOR WIND ENERGY SYSTEMS
par Steve Blake

Mai 1979, 64 p., 10,00 $

Ce volume décrit les différents facteurs influençant le choix et l'évaluation du site pour l'installation de systèmes éoliens.

Disponible chez: Sunflower Power Company
Route 1, P.O. 93A
OSKALOOSA, Kansas 66066
U.S.A.

L'UTILISATION DE L'ÉOLIENNE RAPIDE BRACE COMME SOURCE D'ÉNERGIE MOTRICE
par R.E. Chilcott

Avril 1969, 6 p., 1,25 $ (Rapport nº R57)

Analyse du rendement de l'éolienne rapide Brace construite à la Barbade, aux Antilles, pour fins d'irrigation agricole.

Disponible chez: Institut de recherches Brace
Département des publications
Collège MacDonald de l'Université McGill
SAINTE-ANNE-DE-BELLEVUE
(Québec)
H9X 1C0

Disponible également en version anglaise sous le titre NOTES ON THE DEVELOPMENT OF THE BRACE AIRSCREW WINDMILL AS A PRIME MOVER, 2 p., 0,75 $ (Rapport nº R38).

THE WIND BOOK. ELECTRIC POWER FROM THE WIND
par Ian Hornby

1976, 36 p., 1,95 $

Bon document de base pour connaître l'énergie éolienne, cette publication se présente sous la forme Questions/Réponses.

Disponible chez: Pollution Probe-Ottawa
53 Queen Street, Suite 54
OTTAWA (Ontario)
K1P 5C5
(613) 231-2742

WIND MACHINES
par Frank Reed Eldridge

Seconde édition, 1980, 227 p., 24,70 $
ISBN 0-442-26134-9

Ce livre passe en revue les aspects historiques, techniques, économiques, écologiques, sociologiques et institutionnels de l'énergie éolienne. L'auteur examine également la faisabilité et la performance des différents types d'éoliennes.

Disponible chez: Van Nostrand Reinhold Co.
1410 Birchmount Road
SCARBOROUGH (Ontario)
M1P 2E7

THE WIND POWER BOOK
par Jack Park

1981, 253 p., 14,95 $
ISBN 0-917352-06-8

Ce livre présente toutes les informations nécessaires à la compréhension et à la fabrication d'éoliennes. On y traite de sujets tels les principales caractéristiques du vent, les principes fondamentaux des éoliennes, le design et la fabrication de différents types d'éoliennes pour de multiples usages, etc. Le livre se termine par quelques perspectives économiques et sociales.

Disponible chez: Firefly Books. Ltd.
3520 Pharmacy Avenue
SCARBOROUGH (Ontario)
M1W 2T8

WIND POWER FOR FARMS, HOMES, AND SMALL INDUSTRY
par Jack Park et Dick Schwind (Nielsen Engineering and Research Inc.)

Septembre 1978, 228 p., 9,25 $
Rapport nº RFP-2841/1270/78/4

Ce rapport explique le fonctionnement de l'énergie éolienne, donne les critères de sélection du site d'installation des éoliennes, décrit les composantes et les performances des systèmes éoliens, et présente les aspects économiques et légaux de ceux-ci.

Disponible chez: National Technical Information Service (NTIS)
5285 Port Royal Road
SPRINGFIELD, Virginia 22161
U.S.A.

WIND POWER. RECENT DEVELOPMENTS
Édité par D.J. De Renzo

1979, 357 p., 36,00 $ (Energy Technology Review N° 46)
ISBN 0-8155-0759-3

Présentation des principaux développements survenus aux États-Unis depuis 1975 dans le domaine de l'énergie éolienne et de sa technologie.

Disponible chez: Corpus Books
Circulation Department
1450 Don Mills Road
DON MILLS (Ontario)
M3B 2X7

WINDPOWER PACKET

1979, 35 p., 1,75 $ (Publication n° 1 125)

Dossier donnant des informations sur les éoliennes produisant de l'électricité et sur celles qui permettent le pompage de l'eau.

Disponible chez: Institut de recherches Brace
Département des publications
Collège MacDonald de l'Université McGill
SAINTE-ANNE-DE-BELLEVUE
(Québec)
H9X 1C0

WINDPOWER THEORY, APPLICATION AND EQUIPMENT
par R. Reichel

Mars 1978, révisé avril 1979, 27 p., 2,00 $ (Rapport n° T108)

Ce rapport présente les différentes possibilités et applications des composantes des systèmes éoliens; il fournit aussi une liste des manufacturiers d'équipement éolien.

Disponible chez: Institut de recherches Brace
Département des publications
Collège MacDonald de l'Université McGill
SAINTE-ANNE-DE-BELLEVUE
(Québec)
H9X 1C0

CAN YOU BENEFIT FROM WIND-GENERATED ELECTRICITY?
par J. Le Normand, A. Skelton et L. Ghanimé

Septembre 1978, 8 p., 1,25 $ (Fiche n° F9)

Questions à se poser avant d'acheter ou d'installer un système éolien produisant de l'électricité.

Disponible chez: Institut de recherches Brace
Département des publications
Collège MacDonald de l'Université McGill
SAINTE-ANNE-DE-BELLEVUE
(Québec)
H9X 1C0

CATCH THE WIND. A BOOK OF WINDMILLS AND WINDPOWER
par Landt Dennis

1976, 120 p., 8,35 $
ISBN 0-590-07414-8

Ce livre explique comment étaient utilisés les anciens moulins à vent (section historique), et essaie de définir les problèmes et la possibilité d'un retour des éoliennes à nos temps modernes.

Disponible chez: Four Winds Press
Scholastic Magazines Inc.
50 West, 44th Street
NEW YORK, New York 10036
U.S.A.

COMMERCIALLY AVAILABLE WINDMILL SYSTEMS AND COMPONENTS
par Brace Research Institute staff

Novembre 1978, révisé mai 1979, 11 p., 1,50 $ (Fiche n° F16)

Listes partielles des principaux manufacturiers de système et d'équipement éolien.

Disponible chez: Institut de recherches Brace
Département des publications
Collège MacDonald de l'Université McGill
SAINTE-ANNE-DE-BELLEVUE
(Québec)
H9X 1C0

CONSTRUIRE UNE ÉOLIENNE
par R. Roger

Décembre 1979, 126 p., 12,75 $, numéro hors série de la revue Le Pont
ISSN 0339-008-X

Dessins techniques, photos et explications détaillées permettant le montage ou la réalisation de deux modèles d'éoliennes.

Disponible chez: Éditions de la Lanterne
B.P. 95
70200 LURE
FRANCE

L'ÉNERGIE DU VENT — PUISSANCE REQUISE ET COMPOSANTES DES SYSTÈMES
par le Service d'information technique

Juin 1978, 10 p., gratuit

Présentation des éléments à connaître avant de se lancer dans la construction ou l'installation d'une éolienne pour fins domestiques.

Disponible chez: Conseil national de recherches du Canada
Bureau des publications
Chemin de Montréal
OTTAWA (Ontario)
K1A 0R6

ÉNERGIE ÉOLIENNE. THÉORIE, CONCEPTION ET CALCUL PRATIQUE DES INSTALLATIONS
par Désiré Le Gourières

1980, 279 p., 42,00 $ (Éditions Eyrolles)

Cet ouvrage technique donne d'abord un bref historique et des notions générales sur l'énergie éolienne; il décrit ensuite des installations à axe horizontal et à axe vertical, puis nous présente en détail les utilisations de l'énergie éolienne: pompage de l'eau et production d'électricité. L'auteur termine par un examen des perspectives de développement des installations éoliennes.

Disponible chez: SOMABEC
2475, Sylva Clapin
C.P. 295
SAINT-HYACINTHE (Québec)
J2S 5T5

ENERGY PRIMER: SOLAR, WATER, WIND, AND BIOFUELS
Édité par Richard Merrill et Thomas Gage

Juillet 1978, 256 p., 8,95 $
ISBN 0-440-52311-7

Ce livre semi-technique présente les énergies nouvelles d'une façon très intéressante. On peut se le procurer dans certaines librairies qui se spécialisent dans les livres anglais, écologiques, énergies nouvelles, etc. (Par exemple: Classic Bookshop à Québec ou à Montréal).

Disponible aussi chez: Dell Publishing Co. Inc.
1 Dag Hammarskjold Plaza
NEW YORK, New York 10017
U.S.A.

ÉOLIENNE SAVONIUS (POUR LE POMPAGE D'EAU)
par Daniel Fargeas

Décembre 1973, 2 p., 0,65 $ (Feuillet nº L5F)

Instructions pour construire une éolienne Savonius servant au pompage de l'eau.

Disponible chez: Institut de recherches Brace
Département des publications
Collège MacDonald de l'Université McGill
SAINTE-ANNE-DE-BELLEVUE
(Québec)
H9X 1C0

Disponible également en version anglaise sous le titre HOW TO CONSTRUCT A CHEAP WIND MACHINE FOR PUMPING WATER (SAVONIUS), février 1965, révisé avril 1979, 16 p., 1,50 $ (Feuillet nº L5).